

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a
informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2013

Marek Šimeček

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského
inženýrství

Základní modul měřící a testovací stanice pro E-bike
E-bike Measurement and Test Station Base Module

2013

Marek Šimeček

Zadání bakalářské práce

Student: **Marek Šimeček**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2601R004 Měřicí a řídicí technika
Téma: **Základní modul měřicí a testovací stanice pro E-bike**
E-bike Measurement and Test Station Base Module

Zásady pro vypracování:

1. Popis technických prostředků pro měření a testování.
2. Výběr součástek a návrh zapojení modulu.
3. Návrh a realizace plošného spoje modulu.
4. Implementace modulu do finálního zařízení a testování.
5. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BIKEFUN INTERNATIONAL [online]. 2010 [cit. 2012-02-29]. Dostupné z: <http://www.bikefunint.com>
[2] FORMICA [online]. 2008 [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: <http://www.formica.cz/>
[3] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *Freescale semiconductor* [online]. 2012 [cit. 2012-02-29]. Dostupné z: <http://www.freescale.com> .
[4] DOSTÁL, Jiří. *Operační zesilovače*. 1. vyd. Praha: BEN, 2005, 504 s. ISBN 80-730-0049-0.
[5] DORF, Richard C a James A SVOBODA. *Introduction to electric circuits*. 8th ed. Hoboken, NJ: John Wiley, c2010. xxiii, 886 s. ISBN 978-047-0521-571.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaromír Konečný**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013

doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

*Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.*



Marek Šimeček

Datum odevzdání bakalářské práce: 7.5.2013

Poděkování

Chtěl bych touto cestou poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Jaromírovi Konečnému a zároveň i Bc. Michalovi Kelnarovi za cenné rady, konzultace a připomínky spojené s mou prací.

Abstrakt

Tato Bakalářská práce se bude zabývat popisem technických prostředků pro měření a testování. Výběrem součástek a návrhem zapojení pro hlavní modul měřicí a testovací stanice. Návrhem a realizací plošného spoje v programu Formica 4.40. Implementací modulu do finálního zařízení, testováním a zhodnocením dosažených výsledků.

Klíčová slova

Elektromotor, Bikefun, Měřicí a testovací stanice, Freescale K60, Formica 4.40, Deska plošného spoje, Schéma

Abstract

This Bachelor work will address the description of technical means for measuring and testing. Selection of components and design diagrams for the main module measuring and testing stations. Design and implementation of board in the Formica 4.40. The implementation of the module into the final device, testing and evaluation of results.

Keywords

Electricmotor, Bikefun, Measuring and testing stations, Freescale K60, Formica 4.40, Printed circuit board , Schema

Seznam použitých zkratek a symbolů

DPS	Deska Plošného Spoje,
USB	Universal Serial Bus
CAN	Controller Area Network
SPI	Seriál Peripheral Interface
PCI	Peripheral Component Interconnect
PDF	Přenosný formát dokumentů (Portable Document Format)
PC	Počítač (Personal Computer)
COM	Sériové rozhraní (RS-232)
GND	Zem (Ground)
ARM	Advanced RISC Machines
PWM	Pulzně šířková modulace (Pulse Width Modulation)
MAC	Medium Access Control
LLC	Logical Link Control
SS	Slave Select
MOSI	Master Out Slave In
MISO	Master In Slave Out
SCLK	Hodinový signál (System Clock)
SIE	Serial Interface Engine

Obsah:

1	Úvod	1
2	Cíl	1
3	Popis technických prostředků pro měření a testování	2
3.1	Popis návrhu řešení	2
3.1.1	Popis celkové koncepce	2
3.1.2	Funkce měřicích modulů	3
3.1.3	Funkce hlavního modulu	3
3.2	Kinetis K60	3
3.2.1	Obecně	3
3.2.2	Parametry mikrokontroléru	4
3.3	Sběrnice CAN	5
3.3.1	Úvod	5
3.3.2	Potřeba sériové komunikace u měřicí stanice	5
3.3.3	Základní vlastnosti protokolu CAN	5
3.3.4	Fyzické médium a fyzická vrstva	6
3.3.5	Linková vrstva protokolu CAN	7
3.3.6	Řízení přístupu k médium a řešení kolizí	8
3.4	SPI	8
3.4.1	Rozdělení zařízení na sériové SPI sběrnici	8
3.4.2	Průběh komunikace	9
3.4.3	Polarita a fáze hodinového signálu	9
3.5	USB	10
3.5.1	Princip funkce	10
3.6	PWM	11
3.6.1	Obecně	11
3.6.2	Princip PWM	11
3.6.3	Princip modulace a demodulace	11
3.6.4	Použití PWM ve výkonové elektronice	12
3.7	Dolní propust	12
3.8	Spínací zesilovač	13
3.8.1	Obecně	13
3.9	Emitorový sledovač	16
3.10	Neinvertující operační zesilovač	18
3.11	Schmittův klopný obvod	19
4	Řešení problematiky	20
4.1	Zdroje napájecího napětí	20
4.2	Ovládání motoru šlapání a simulátoru baterie	20
4.3	Digitální vstupy	21
4.4	Digitální výstupy	22
4.4.1	Popis funkce obecného výstupu	22
4.4.2	Popis funkce výkonového výstupu	23
4.5	Sběrnice USB, CAN	24
4.5.1	Sběrnice CAN	24
4.5.2	Sběrnice USB	25
4.6	Nordic module	25
4.7	Relé	26
5	Návrh koncepce	27

5.1	Zapojení hlavního modulu	27
5.1.1	Zdroj je napětí	27
5.1.2	Externí řídicí jednotka	27
5.1.3	Ovládání zdrojů	28
5.1.4	Konektory	28
6	Návrh a realizace plošného spoje modulu	29
6.1	Periferie	29
6.2	Deska plošných spojů	30
6.3	Osazovací plán	31
6.3.1	Hlavní část modulu	31
6.3.2	Vstupní/výstupní modul	32
7	Implementace modulu do finálního zařízení a testování	34
7.1	Testování	34
7.2	Implementace	34
8	Závěr	36
9	Seznam literatury	37
10	Seznam příloh	38

1 Úvod

Měřicí stanice bude sloužit k celkovému ověření funkce kompletně složeného kola ve výrobě (budoucí náhrada testovacích jízd). Zařízení bude využívat měření výkonu obsaženého motoru v elektrickém kole, bude schopna zajišťovat simulaci napájení z baterie, šlapání člověka a samozřejmě i váhy člověka. Měřicí stanice je velmi důležitá pro firmu Bike Fun International s.r.o. díky této stanici bude tato firma zajišťovat co nejvyšší kvalitu při výrobě kol to znamená, že na tuto stanici jsou velmi vysoké nároky. Část, kterou se tato bakalářská práce zabývá, je zhotovení hlavního komunikačního modulu, který bude zajišťovat propojení měřících modulů s řídicím PC. V modulu budou také obsaženy fyzické vrstvy sběrnic CAN, USB a bude schopen zajišťovat komunikaci po SPI. V první části se bakalářská práce bude zabývat teorií sběrnic a jejich fyzickou vrstvou. Ovšem modul nebude osezen jen sběrnici ale i řadou vstupů a výstupů, napěťovou podporou potřebných nejen pro funkci obsaženého mikrokontroléru ale i pro celou koncepci měřicí a testovací stanice.

2 Cíl

Cílem této bakalářské práce je zhotovení funkčního modulu, který bude implementován do koncepce měřicí stanice. Modul bude vycházet z koncepce Tower systém firmy Freescale pro procesory K60 a bude zajišťovat hardwarové ošetření vstupů s výstupů procesoru. Tento modul bude také zajišťovat bezdrátovou komunikaci mezi měřicí brzdou a také bude schopen komunikovat po sběrnici, jako jsou SPI, USB a CAN.

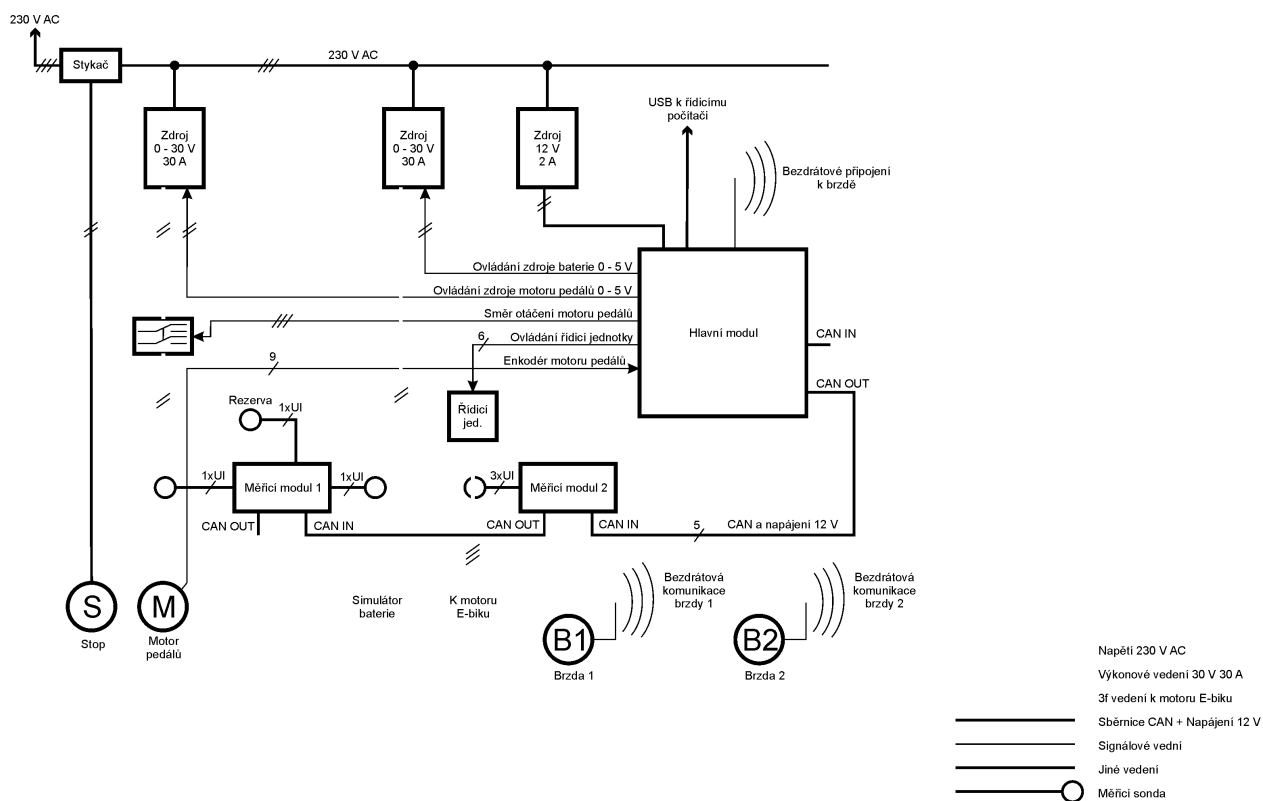
3 Popis technických prostředků pro měření a testování

3.1 Popis návrhu řešení

V této kapitole bude rozebrán návrh řešení koncepce měřicí a testovací stanice. Je zde i obsažen stručný popis jednotlivých prvků

3.1.1 Popis celkové koncepce

Koncepce se skládá z dvou měřicích modulů řízených mikroprocesory a hlavního modulu, který zajišťuje komunikaci modulů s PC, ovládání výstupů a sběr dat ze vstupů. Silovou část měřicí a testovací stanice tvoří hlavní stykač, dvojice říditelných zdrojů 0 - 30V, spínaná relé a 12 V napětíová podpora pro hlavní a měřicí moduly. Jako snímače jsou zde využity motorové brzdy umístěné na hnaném kole E-biku a také enkodér umístěný na motoru pro simulování šlapání.



Obr. 1 Schéma celkové koncepce testovací stanice

3.1.2 Funkce měřících modulů

Ve stanici je nutno měřit stejnosměrné napětí a proud do motoru pro emulaci šlapání a dále pro napájení řídicí jednotky kola. Veličiny mají stejný rozsah, a to -30 V až +30 V pro napětí a -40 A až +40 A pro proud. Modul musí umět z těchto vypočítat výkon. Dalším požadavkem je měření výkonu bezkartáčového motoru v kole, je tedy nutno měřit na třech fázích efektivní napětí, proud a činný výkon jednotlivých fází a nakonec celkový činný výkon motoru. Rozsahy veličin jsou stejné, jako výše popsané. Modul musí dále komunikovat s řídicím systémem.

3.1.3 Funkce hlavního modulu

Modul vychází z koncepce Tower systém firmy Freescale pro procesory K60. Modul zajišťuje hardwarové ošetření vstupů a výstupů tohoto procesoru pro měřicí či ovládací operace. Tento modul zajišťuje bezdrátovou komunikaci s využitím Nordic modulu mezi měřicí brzdou a procesorem. Také je schopen komunikovat po sběrnicih jako jsou SPI, USB a CAN.

3.2 Kinetis K60

V této kapitole je popsána charakteristika mikrokontroléru řady Kinetis K60.

3.2.1 Obecně

Tower systém společnosti Freescale se skládá z modulárních částí a tím se stává velice univerzální pro různé aplikace. Díky tower systému je možné si nakonfigurovat různé druhy periférií a řadičů potřebným k nejrůznějším aplikacím. Firma Freescale nabízí k tomuto systému hned několik druhů procesorů různých parametrů a vlastností. Avšak pro aplikaci do měřicí stanice je nejvhodnější využití třech procesorových desek a to tak že hlavní modul obsahuje nadřazenou řadu K60 a měřicí moduly obsahují řadu K20. [10]



Obr. 2 Tower systém [7]

3.2.2 Parametry mikrokontroléru

Mikrokontrolér TWRK60F120MUM z řady Kinetis K60 je postaven na základě ARM Cortex M4 procesoru a jeho vlastnosti jsou:

- 32-bit ARM Cortex-M4 procesor s DSP instrukcemi
- Maximální operační frekvence procesoru je 120MHz
- 1.71V – 3.6V je rozsah možného použitého vstupního napětí
- 1 Mbyte flash paměti pro program a 128 Kbytes statické RAM
- NAND flash řadič
- Externí sběrniceový interface
- 16-bit SAR ADC, 12-bit DAC
- Vysokorychlostní analogový komparátor s 6-bit DAC
- Programovatelná napěťová reference
- USB vysokorychlostní OTG řadič
- 10/100 Mbps Ethernet MAC
- Sběrnice :SPI, I2C (podpora w/ SMBUS), UART (w/ ISO7816, CEA709.1-B (LON), a podpora IrDA), CAN, I2S
- SD Host řadič (SDHC)
- Kapacitní dotikové vstupy (TSI)
- Ladící rozhraní: JTAG, cJTAG, SWD

[10]



Obr. 3 Deska mikrokontroléru [7]

3.3 Sběrnice CAN

V této kapitole je popsána charakteristika sběrnice CAN.

3.3.1 Úvod

CAN (Controller Area Network) je sériový komunikační protokol, který byl původně vyvinut firmou Bosch pro nasazení v automobilech. Vzhledem k tomu, že přední výrobci integrovaných obvodů implementovali podporu protokolu CAN do svých produktů, dochází ke stále častějšímu využívání tohoto protokolu i v různých průmyslových aplikacích. Důvodem je především nízká cena, snadné nasazení, spolehlivost, vysoká přenosová rychlost, snadná rozšiřitelnost a dostupnost potřebné součástkové základny.[12]

V současné době má protokol CAN své pevné místo mezi ostatními fieldbusey a je definován normou ISO 11898. Ta popisuje fyzickou vrstvu protokolu a specifikaci CAN 2.0A. Později byla ještě vytvořena specifikace CAN 2.0B, která zavádí dva pojmy - standardní a rozšířený formát zprávy (lišící se v délce identifikátoru zprávy). Tyto dokumenty definují pouze fyzickou a linkovou vrstvu protokolu podle referenčního modelu ISO/OSI. Aplikační vrstva protokolu CAN je definována několika vzájemně nekompatibilními standardy (CAL, CANopen, DeviceNet, CAN Kingdom). [9]

3.3.2 Potřeba sériové komunikace u měřicí stanice

Komplexnost měřicí a testovací stanice si vynutila potřebu vzájemné komunikace mezi funkčními moduly. V konvenčních systémech je pro každý přenášený signál vyhrazena jedinečná přenosová linka, což by bylo pro aplikaci velice limitující a bylo by mnohem složitější stanici rozšířit o další moduly. Účelem použití této sběrnice v této aplikaci je zajištění komunikace mezi jednotlivými jednotkami tak, aby nedocházelo k velkému zatížení centrálního procesoru.

3.3.3 Základní vlastnosti protokolu CAN

CAN je sériový komunikační protokol umožňující distribuované řízení systémů v reálném čase s vysokou mírou zabezpečení proti chybám. Jedná se o protokol typu multi-master, kde každý uzel sběrnice může být master a řídit tak chování jiných uzlů. Není tedy nutné řídit celou síť z jednoho nadřazeného uzlu, což přináší zjednodušení řízení a zvyšuje spolehlivost (při poruše jednoho uzlu může zbytek sítě pracovat dál). Pro řízení přístupu k médiu je použita sběrnice s náhodným přístupem, která řeší kolize na základě prioritního rozhodování. Po sběrnici probíhá komunikace mezi dvěma uzly pomocí zpráv (datová zpráva a žádost o data), a management sítě (signalizace chyb, pozastavení komunikace) je zajištěn pomocí dvou speciálních zpráv (chybové zprávy a zprávy o přetížení). [9]

Zprávy vysílané po sběrnici protokolem CAN neobsahují žádnou informaci o cílovém uzlu, kterému jsou určeny, a jsou přijímány všemi ostatními uzly připojenými ke sběrnici. Každá zpráva je uvozena identifikátorem, který udává význam přenášené zprávy a její prioritu. Protokol CAN zajišťuje, aby zpráva s vyšší prioritou byla v případě kolize dvou zpráv doručena přednostně a dále je možné na základě identifikátoru zajistit, aby uzel přijímal pouze ty zprávy, které se ho týkají. [12]

Pro zajištění transparentnosti návrhu a flexibility implementace je sběrnice CAN rozdělena do tří rozdílných vrstev:

- CAN vrstvy objektů,
- CAN transportní vrstvy,
- fyzické vrstvy.

Vrstva objektů a transportní vrstva zahrnuje veškeré služby a funkce poskytované v rámci linkové vrstvy, tak jak je definována modelem ISO/OSI. [9]

Vrstva objektů je odpovědná za:

- nalezení zprávy, která má být vyslána,
- rozhodnutí, které přijaté zprávy od transportní vrstvy mají být použity,
- poskytování rozhraní aplikační vrstvě související s hardwarem.

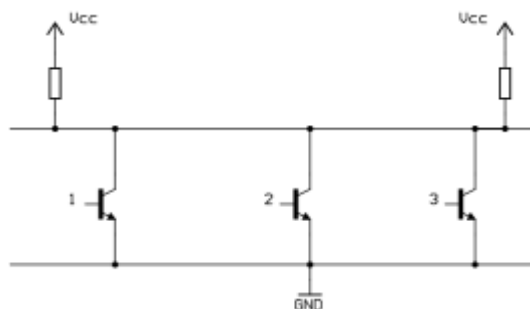
Úkolem transportní vrstvy je především přenosový protokol. Například řízení rámců, řízení, kontrola chyb, signalizace chyb. Uvnitř transportní vrstvy je rozhodnuto, zda je sběrnice volná pro nový přenos dat či naopak jejich příjem. Také několik obecných vlastností týkajících se časování bitů je svěřeno transportní vrstvě. Je možné prohlásit, že vzhledem k povaze transportní vrstvy zde není žádný prostor pro její modifikaci ze strany uživatele. [9]

Úkolem fyzické vrstvy je vlastní přenos jednotlivých bitů mezi jednotlivými uzly s respektováním všech elektrických vlastností. Uvnitř jedné sítě má fyzická vrstva stejné parametry pro všechny uzly, nicméně je možné zvolit si její parametry tak, aby co nejlépe vyhovovaly dané aplikaci. [9]

3.3.4 Fyzické médium a fyzická vrstva

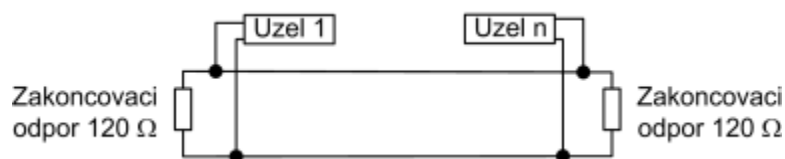
Protokol CAN definuje vlastní rozhraní k fyzickému přenosovému médiumu a v tomto směru se odlišuje od modelu ISO/OSI. Na druhé straně jsou vlastnosti fyzické vrstvy velkou předností protokolu CAN. Základním požadavkem na fyzické přenosové médium protokolu CAN je, aby realizovalo funkci logického součinu. Za účelem zvýšení rychlosti a odolnosti proti rušení je účelné, aby spoj byl symetrický. Standard protokolu CAN definuje dvě vzájemně komplementární hodnoty bitů na sběrnici – dominantní (dominant) a ustupující (recessive). Jedná se v podstatě o jakýsi zobecněný ekvivalent logických úrovní, jejichž hodnoty nejsou určeny a skutečná reprezentace záleží na konkrétní realizaci fyzické vrstvy. [10]

Pravidla pro stav na sběrnici jsou jednoduchá a jednoznačná. Vysílají-li všechny uzly sběrnice ustupující (recessive) bit, pak na sběrnici je úroveň ustupující (recessive). Vysílá-li alespoň jeden uzel dominant bit, je na sběrnici úroveň dominant. Příkladem může být optické vlákno, kde stavu dominantní (dominant) bude odpovídat stav svítí a ustupující (recessive) stav nesvítí. Dalším příkladem může být sběrnice buzená hradly s otevřeným kolektorem Obr. 4, kde stavu dominant bude odpovídat logická nula na sběrnici a stavu ustupující (recessive) logická jednička. Pak, je-li jeden tranzistor sepnut, je na sběrnici úroveň logické nuly a nezáleží již na tom, zda je či není sepnutý i nějaký jiný tranzistor. Pokud není sepnut žádný tranzistor, je na sběrnici úroveň logické jedničky [10]



Obr. 4 Příklad realizace fyzické vrstvy protokolu CAN [10]

Pro realizaci fyzického přenosového média se nejčastěji používá diferenciální sběrnice definovaná podle normy ISO 11898. Tato norma definuje jednak elektrické vlastnosti vysílače a přijímače tak zároveň principy časování, synchronizaci a kódování jednotlivých bitů. Sběrnici tvoří dva vodiče (označované CAN_H a CAN_L), kde dominantní (dominant) či ustupující (recessive) úroveň na sběrnici je definována rozdílovým napětím těchto dvou vodičů. Dle nominálních úrovní uvedených v normě je pro úroveň ustupující (recessive) velikost rozdílového napětí $V_{\text{diff}} = 0 \text{ V}$ a pro úroveň dominantní (dominant) $V_{\text{diff}} = 2 \text{ V}$. Pro eliminaci odrazů na vedení je sběrnice na obou koncích přizpůsobena zakončovacími odpory o velikosti 120Ω . Jednotlivá zařízení jsou na sběrnici připojena pomocí konektorů, nejčastěji jsou používány konektory D-SUB. [10]



Obr. 5 Fyzické uspořádání sítě CAN podle ISO 11898 [9]

Ke sběrnici může být teoreticky připojen libovolný počet uzlů, ale prakticky s ohledem na zatížení sběrnice, je počet připojených uzlů podstatně nižší a uvádí se kolem 64 na segment. Rovněž přenosová rychlost 1 Mbit/s je dosažitelná pouze na krátké vzdálenosti do 40 m a se vzdáleností prudce klesá, takže na $1,2 \text{ km}$ činí asi 70 kbit/s . Plyne to z původního poslání sběrnice CAN, která byla určena pro malé vzdálenosti v instalaci automobilů. [10]

3.3.5 Linková vrstva protokolu CAN

Tak jako v modelu ISO/OSI i v protokolu CAN je linková vrstva rozdělena na podvrstvy LLC a MAC:

- MAC (Medium Access Control) reprezentuje jádro protokolu CAN. Úkolem je provádět kódování dat, vkládat doplňkové bity do komunikace (Stuffing/DeStuffing), řídit přístup všech uzlů k médiu s rozlišením priorit zpráv, detekce chyb a jejich hlášení a potvrzování správně přijatých zpráv.
- LLC (Logical Link Control) je podvrstva řízení datového spoje, což zde znamená filtrování přijatých zpráv (Acceptance Filtering) a hlášení o přetížení (Overload Notification). [10]

3.3.6 Řízení přístupu k médiu a řešení kolizí

Vzhledem k tomu, že se jedná o síť typu multimaster, každý z účastníků může zahájit vysílání, jakmile je připraven a síť je v klidovém stavu (*bus free*). Kdo přijde první, ten vysílá. Ostatní mohou vysílat až poté, co je zpráva odvysílána. Výjimku tvoří chybové rámce, které se dají vysílat okamžitě po identifikaci chyby kterýmkoli účastníkem.

Zahájí-li vysílání současně několik uzlů, pak přístup na sběrnici získá ten, který přenáší zprávu s vyšší prioritou (nižším identifikátorem). Identifikátor je uveden na začátku zprávy. Každý vysílač porovnává hodnotu právě vysílaného bitu s hodnotou na sběrnici a zjistí-li, že na sběrnici je jiná hodnota než vysílá (jedinou možností je, že vysílač vysílá ustupující (recessive) bit a na sběrnici je úroveň dominantní (dominant)), okamžitě přeruší další vysílání. Tím je zajištěno, že zpráva s vyšší prioritou bude odeslána přednostně a že nedojde k jejímu poškození, což by mělo za následek opakování zprávy a zbytečné prodloužení doby potřebné k přenosu zprávy. Uzel, který nezískal při kolizi přístup na sběrnici musí vyčkat, až bude sběrnice opět ve stavu klidovém (bus free) a pak zprávu vyslat znovu. [10]

3.4 SPI

SPI (Serial Peripheral Interface) je sériové periferní rozhraní. Používá se pro komunikaci mezi řídicími mikroprocesory a ostatními integrovanými obvody (EEPROM, A/D převodníky, displeje...). Komunikace je realizována pomocí společné sběrnice. Adresace se provádí pomocí zvláštních vodičů, které při logické nule aktivují příjem a vysílání zvoleného zařízení (piny SS nebo CS). [5]

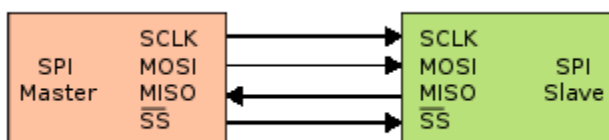
3.4.1 Rozdělení zařízení na sériové SPI sběrnici

Řídicí (master)

- řídí komunikaci pomocí hodinového signálu
- určuje, se kterým zařízením na sběrnici bude komunikovat pomocí SS (Slave Select)

Podřízené (slave)

- vysílá podle hodinového signálu, pokud je aktivován pomocí SS/CS

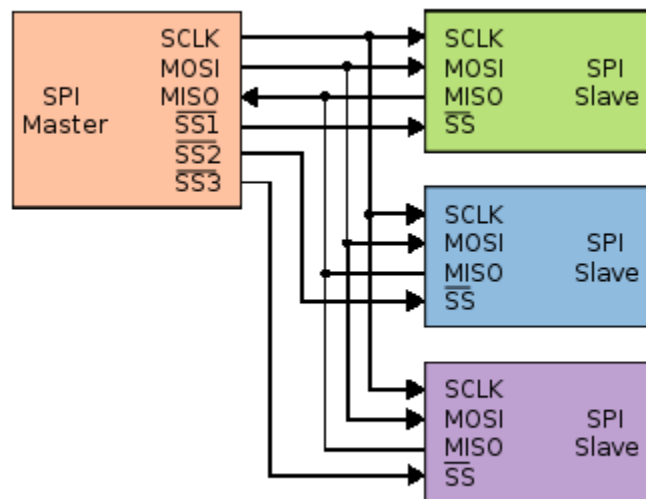


Obr. 6 Sběrnice SPI: jedno řídicí (master) a jedno podřízené (slave) zařízení [5]

3.4.2 Průběh komunikace

Pro komunikaci Master nastaví log. 0 na SS zařízení, se kterým chce komunikovat. Pak začne generovat hodinový signál na SCLK a v té chvíli vyšlou obě zařízení svoje data, přičemž MOSI (Master Out, Slave In) je vždy řídicí (master) výstup, podřízený (slave) vstup a MISO (Master In, Slave Out) je řídicí (master) vstup, podřízený (slave) výstup. Jakmile jsou data vyslána, může komunikace dále pokračovat:[5]

- Řídicí (master) dále dodává hodinový signál, hodnota SS se nemění nebo může být ukončena: Řídicí (master) přestane vysílat hodinový signál a nastaví SS do log. 1.
- Délka vyslaných dat je buď 8bit (Byte) a nebo 16bit (Word).
Sběrnice SPI: jedno řídicí (master) a tři podřízená (slave) zařízení

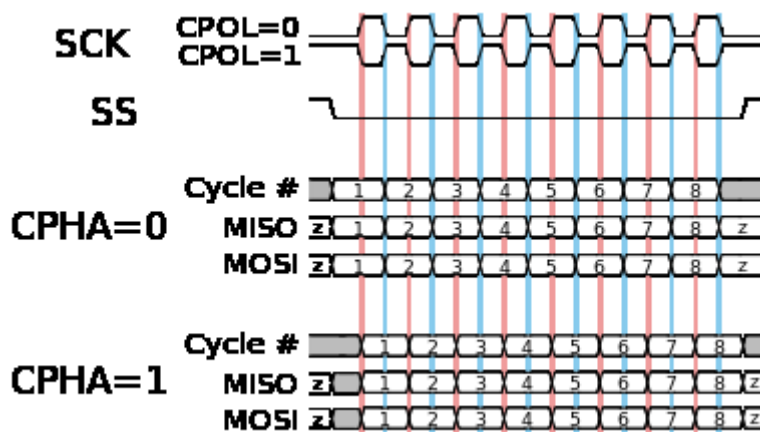


Obr. 7 Sběrnice SPI: jedno řídicí (master) a tři podřízená (slave) zařízení [5]

3.4.3 Polarita a fáze hodinového signálu

Vztah mezi hodinovým signálem a daty se určuje dvěma konfiguračními bity, které se v původní dokumentaci k SPI označují jako CPOL a CPHA.[5]

- CPOL = 0; klidová úroveň hodinového signálu log. 0
- CPOL = 1; klidová úroveň hod. sig. je log. 1
- CPHA = 0; hodnota je čtena při přechodu hodin z klidové do aktivní úrovně (tj. "první" hranou)
- CPHA = 1; hodnota je čtena při přechodu hodin z aktivní do klidové úrovně (tj. "druhou" hranou)



Obr. 8 Časový diagram zobrazující úroveň a posun hodinového signálu [5]

3.5 USB

3.5.1 Princip funkce

USB je sběrnice jen s jedním zařízením typu Master, tj. všechny aktivity vycházejí z PC. Data se vysílají v krátkých paketech o 8 bajtech a delších paketech o délce až 256 bajtů. PC může požadovat data od zařízení, naopak žádné zařízení nemůže vysílat data samo od sebe.[12]

Veškerý přenos dat se uskutečňuje v tzv. rámcích, které trvají přesně 1 milisekundu. Uvnitř jednoho rámce mohou být postupně zpracovávány pakety pro několik zařízení. Přitom se mohou spolu vyskytovat pomalé (low-speed) i rychlé (full-speed) pakety. Obrací-li se PC na více zařízení, zajišťuje jejich rozdělení jako rozdělovač sběrnice (hub). Zabraňuje také, aby signály s plnou rychlostí (full-speed) byly vedeny na pomalá zařízení. Časový průběh přenosu informace je předepisován výhradně masterem. Zařízení typu slave se musí synchronizovat s datovým tokem.[12]

Jednotlivé bity jsou kódovány metodou Non Return to Zero Inverted (NRZI). Nuly v datech vedou ke změně úrovně, jedničky nechávají úroveň beze změny. Kódování a dekodování signálů je čistě hardwarovou záležitostí. Přijímač musí být schopen získat signál, přijmout a dekodovat data. Speciální prostředky zajišťují, aby nedocházelo ke ztrátě synchronizace.[12]

Obsahuje-li původní datový tok šest po sobě jdoucích jedniček, přidá vysílač automaticky jednu nulu (vkládání bitů – bit-stuffing), aby se tím vynutila změna úrovně. Přijímač tuto nulu z datového toku opět odstraní. Každý datový paket má za účelem synchronizace speciální zaváděcí bajt (00000001b). Přijímač v důsledku kódování NRZI a vsouvání bitů vidí osm střídajících se bitových stavů, na které se může synchronizovat. Během následujícího přenosu musí synchronizace zůstat zachována. Všechny tyto procesy se odehrávají pouze v odpovídajících hardwarových součástkách. Přijímač a vysílač jsou realizovány vždy společně v jedné součástce.[12]

Zařízení USB obsahuje jednotku zvanou Serial Interface Engine (SIE), která přebírá vlastní práci. K výměně dat mezi SIE a zbytkem zařízení slouží buffery FIFO. FIFO jsou paměti, které mohou postupně přijímat a vydávat data podobně jako posuvné registry. Připojený mikrořadič tedy potřebuje jen přečíst data z FIFO a jiná data do FIFO zapsat. Ve většině případů je SIE součástí mikrořadiče USB. Zařízení USB má obecně několik pamětí FIFO, jejichž prostřednictvím je možno přenášet data.[12]

Například myš, která je připojena přes USB, má vždy koncovou endpoint 0 a endpoint 1. Endpoint 0 se používá při inicializaci. Vlastní uživatelská data se z mikrořadiče v určitých časových odstupech zapisují do endpointu 1 a odtud si je vybírá PC. USB software tvoří tzv. trubice (pipes)

k jednotlivým endpointům (koncovým adresám). Jedna pipe je logický kanál k jednomu endpointu v jednom zařízení. Pipe si můžeme představit jako datový kanál tvořený vodičem. Ve skutečnosti však jsou data v pipe přenášena jako datové pakety v milisekundových rámcích a hardwarem rozdělována na reálné paměti podle jejich koncové (endpoint) adresy. Jedno zařízení může současně používat několik trubic (pipes), takže přenosová rychlost celkově vzroste.[12]

3.6 PWM

3.6.1 Obecně

Pulsně šířková modulace, neboli PWM (Pulse Width Modulation) je diskrétní modulace pro přenos analogového signálu pomocí dvouhodnotového signálu. Jako dvouhodnotová veličina může být použito například napětí, proud, nebo světelný tok. Signál je přenášen pomocí střídavy. Pro demodulaci takového signálu pak stačí dolnofrekvenční propust. Vzhledem ke svým vlastnostem je pulsně šířková modulace často využívána ve výkonové elektronice pro řízení velikosti napětí nebo proudu. Kombinace PWM modulátoru a dolnofrekvenční propusti bývá rovněž využívána jako levná náhrada D/A převodníku.[14]

3.6.2 Princip PWM

Přenosový signál, který nese informaci o přenášené hodnotě, může nabývat hodnot zapnuto/vypnuto tj. $\log.1/\log.0$. Hodnota přenášeného signálu je v přenosu "zakódována" jako poměr mezi stavy zapnuto/vypnuto. Tomuto poměru se říká střída. Cyklus, kdy dojde k přenosu jedné střídavy se říká perioda. Omezením pro PWM je to, že přenos informace je vždy omezen na relativní vyjádření a to 0 - 100 %, to znamená, že musí být znám poměr mezi skutečnou hodnotou a procentuálním vyjádřením. Časové hodnoty střídavy se pohybují v sekundách, v milisekundách pro přesnější řízení. Perioda je vždy součtem doby zapnuto a vypnuto.[14]

3.6.3 Princip modulace a demodulace

Představme si, že chceme s využitím PWM přenést analogové napětí pomocí světlovodu. Modulátor srovnává modulační signál (analogové napětí) s nosným signálem tvořeným střídavým napětím konstantní amplitudy (velkosti) a frekvence, jehož průběh je pilový nebo trojúhelníkový. Modulační signál musí mít podstatně nižší frekvenci než nosný signál. Pokud je okamžitá hodnota modulačního signálu nižší než okamžitá hodnota nosného signálu, modulátor zapne světlo, v opačném případě světlo vypne (výstupním členem bude nejspíše optický vysílač s LED diodou).[14]

Na opačné straně optického vlákna máme optický přijímač, který při rozsvíceném světle připne na výstup kladné napětí, při vypnutém světle záporné napětí o stejné velikosti, jako je amplituda napětí nosného signálu. Pokud toto napětí pustíme přes dolnofrekvenční propust, dostáváme za ní signál podobný modulačnímu signálu na začátku přenosového řetězce.[14]

Modulace se často provádí digitálně, ale základní princip zůstává stejný. Hodnota modulačního signálu se ukládá jako číslo do vstupního registru modulátoru a nosný signál je reprezentován hodnotou čítače modulátoru.

3.6.4 Použití PWM ve výkonové elektronice

Tranzistor má nízké ztráty ve dvou provozních stavech. Když je plně vypnutý, nebo když je plně sepnutý. Když je plně vypnutý, je na něm napětí, ale neteče přes něj proud, takže jsou v tomto stavu jeho ztráty nulové. Když je plně sepnutý, může přes něj téct proud, ale je na něm pouze saturační napětí, které je poměrně nízké, takže jeho ztrátový výkon je v tomto stavu rovněž nízký. Protože při každém zapnutí nebo vypnutí přechází tranzistor přes oblast vysokých ztrát, s frekvencí spínání ztráty rostou. Díky možnosti přenést dvouhodnotově modulovaný signál při dané spínací frekvenci dnes patří pulsně šířková modulace k základním technikám, na kterých stojí současná výkonová elektronika.[14]

Téměř všechny současné DC/DC měniče, měniče frekvence nebo střídače využívají nějakou formu pulsně šířkové modulace. Například střídač může připojovat na stejnosměrný elektromotor pulsně-šířkově modulované napětí. Rozptylová indukčnost motoru se pak chová jako dolnofrekvenční propust, takže proud a tedy i moment motoru je spojitý.[14]

Podobně se PWM používá u měničů frekvence s třífázovými elektromotory. Indukčnost motoru zde rovněž působí jako dolnofrekvenční propust, tři fáze motoru jsou připojeny na tři pulsně-šířkově modulovaná napětí. Motor se při dostatečně velké nosné frekvenci modulace chová podobně, jako by na něj přiložená napětí nebyla modulovaná. Vzhledem k tomu, že nulový vodič motoru se nezapojuje, rozhodující jsou pouze rozdíly napětí (tj. okamžitá sdružená napětí) vstupující do modulátorů.[14]

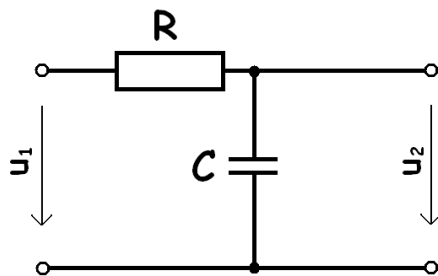
Ve spotřební elektronice mohou využívat PWM tzv. zesilovače třídy D, jejichž hlavní výhodou jsou nízké ztráty, což vede k úspoře energie a ke snížení rozměrů zařízení. To má význam zvláště u přístrojů napájených z baterie.

Nosná frekvence modulace bývá většinou konstantní, ale nemusí tomu tak být vždy. Například některé střídače pro řízení motoru mohou záměrně každou periodu náhodně měnit frekvencí nosného signálu, aby bylo redukováno nepříjemné pískání motoru souvisící s nosnou frekvencí modulace.[14]

Modulovanou veličinou je většinou napětí - pak mluvíme o měničích s napěťovým meziobvodem. Mnohem řidčeji se používá modulace proudu - pak mluvíme o měničích s proudovým meziobvodem.[14]

3.7 Dolní propust

Jako dolní propust se označuje lineární filtr, který nepropouští signál vyšších frekvencí. Základní dvojbranné zapojení (pasivní), kde ke vstupu je sériově zapojen rezistor a poté paralelně kondenzátor.



Obr. 9 RC článek

Tento RC člen totiž se zvyšující se frekvencí vstupního signálu zvyšuje svou impedanci. Nejdůležitějším parametrem je mezní frekvence f_0 (také značený f_m , f_c , nebo f_d), který označuje hodnotu frekvence, při které zisk poklesne o 3 dB, tedy zhruba o 29%. Mezní frekvence f_0 se vypočte vztahem: [1]

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad (1)$$

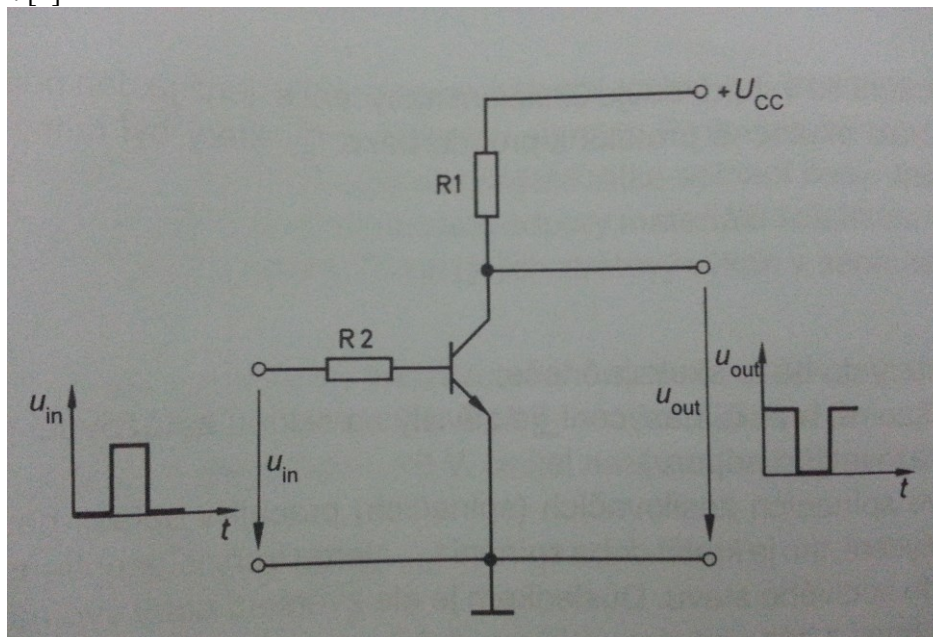
Často používaný filtr s mezní frekvencí 300 Hz tedy můžeme sestavit pomocí rezistoru s odporem 56 k Ω a kondenzátorem s kapacitou 0,01 μ F. Od f_0 klesá zisk strmostí okolo -20 dB na dekádu. Právě strmost je dalším důležitým parametrem. Vypočte se rozdílem míst v křivce poklesu, kde je křivka protnuta mezní frekvencí a místem, kde je frekvence právě o dekádu vyšší ($10 \cdot f_0$). [1]

3.8 Spínací zesilovač

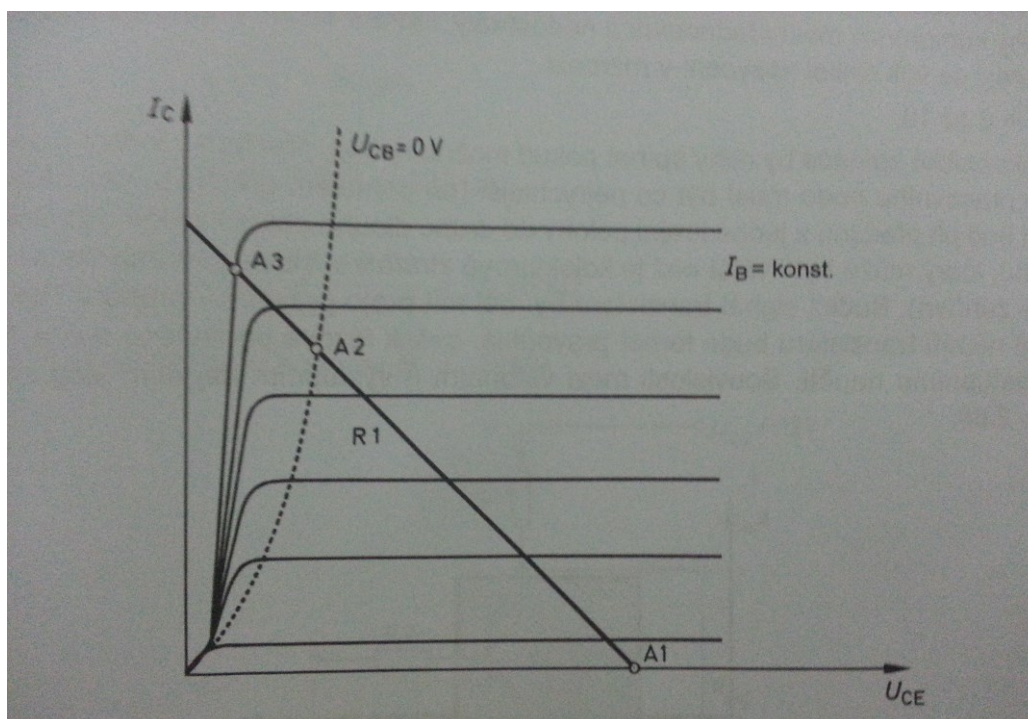
3.8.1 Obecně

Ve spínacím zesilovači má tranzistor jeden ze dvou stavů – „vodivý“ nebo „uzavřený“. Má proti dva pracovní body. Zapojení spínacího zesilovače je uvedeno na Obr. 10. Pokud je vstupní proud $I_B = 0$ A, je tranzistor uzavřený a neprotéká jím žádný proud a na kolektorovém rezistoru nevzniká žádný úbytek napětí, takže je výstupní napětí rovno napětí napájecímu $U_{out} \approx U_{CC}$. Na Obr. 11 je tento pracovní bod ve výstupních charakteristikách tranzistoru označen A1.[2]

Druhý bod leží v oblasti nasycení, pro jejíž hranici platí $U_{CB} = 0$ V. Tato situace nastane v případě, že je zbytkové napětí tranzistoru stejně velké jako napětí přechodu báze-emitor. V charakteristikách na Obr. 11 leží pracovní bod A2 právě na hranici nasycení. [2]



Obr. 10 Spínací zesilovač [2]



Obr. 11 Výstupní charakteristiky tranzistorového spínače [2]

Pokud by měl mít tranzistor klidový pracovní bod v poloze A2, měl by ještě relativně velké zbytkové napětí $U_{CE\text{ res}} \approx 0,7\text{V}$ a tudíž by měl relativně velký zkratový výkon P_D . Proto je vhodné tranzistor přebudit (pracovní bod posunout do oblasti nasycení), čímž zbytkové napětí klesne. Jedná se vlastně o stav, kdy do báze teče větší proud, než jaký bychom potřebovaly pro dosažení maximálního kolektorového proudu.

Čím je nasycení větší, tím více se pracovní bod po zatěžovací přímce posune od bodu A2 k bodu A3. Důsledkem je snížení zbytkového napětí kolektoru až k hodnotám kolem $U_{CE\text{ res}} \approx 0,1\text{V}$, čímž výrazně klesne zkratový výkon tranzistoru v sepnutém stavu.

Stupeň přebuzení se vyhodnocuje činitelem nasycení s , jenž je dán poměrem proudu báze I_B , který bázi skutečně protéká k proudu báze I_B' , který byl nutný pro dosažení hranice nasycení:

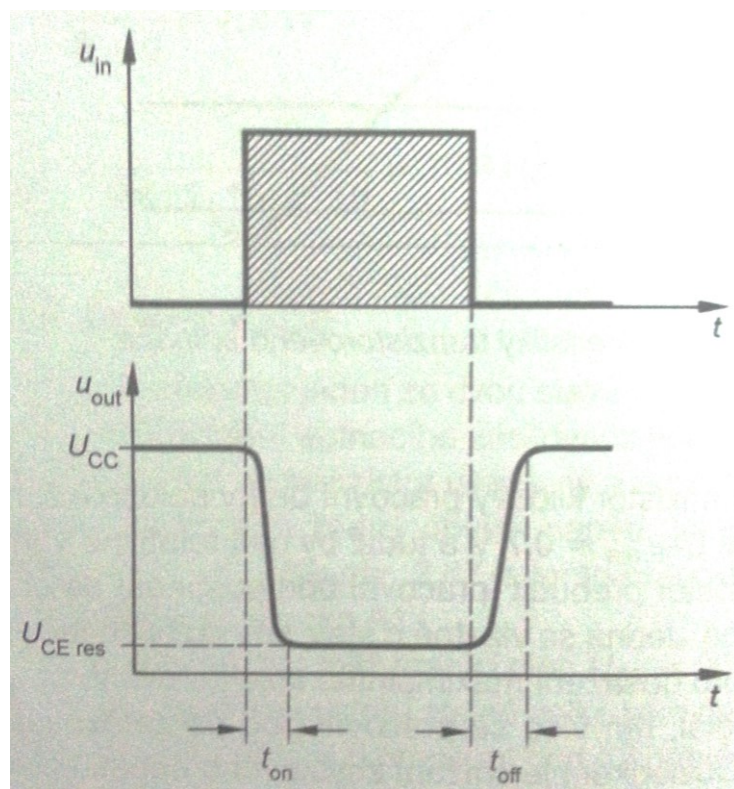
$$s = \frac{I_B}{I_B'} \quad (2)$$

I_B = proud, který do báze skutečně teče;

I_B' = proud báze na hranici nasycení (je závislý na sklonu zatěžovací přímky a tudíž na velikosti zatěžovacího odporu).

Tranzistory ve spínacích zesilovačích (spínačích) pracují v oblasti nasycení běžně. Čím větší je nasycení. Tím je kratší doba spínání t_{on} , kterou tranzistor potřebuje k přechodu z nevodivého do vodivého stavu. Důsledkem je ale zvětšení doby vypínání t_{off} , protože se při vypínání musí báze odvést větší množství nositelů náboje. Musíme proto zvolit vhodný kompromis mezi přednostmi a nedostatky, které s sebou přebuzení přináší. V praxi se volí činitel nasycení v rozmezí $s \approx 2-10$. [2]

Elektronické spínače by měly spínat pokud možno rychle, přechod z jednoho do druhého pracovního bodu musí být so nejrychlejší (při pomalém přechodu prochází pracovní bod při přenosu z jedné krajní polohy druhé dlouho oblastí velkého zkratového výkonu, který může být i větší než je kolektorová ztráta tranzistoru a tranzistor se zbytečně zahřívá). Budící signál tranzistoru by měl mít proto pravoúhlý průběh. Tím i výstupní napětí tranzistoru bude téměř pravoúhlé, avšak fázově pootočené o $\varphi = 180^\circ$ vůči vstupnímu napětí. Souvislosti mezi vstupním a výstupním napětím jsou zřejmé z Obr. 12. [2]

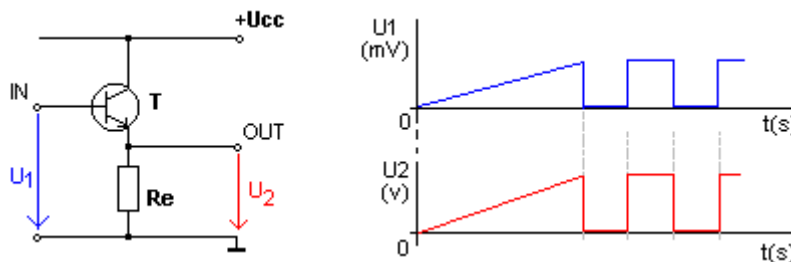


Obr. 12 Průběhy signálů u spínacího zesilovače [2]

Jako elektronický spínač může fungovat téměř každý typ tranzistoru. Musí být ale schopen zpracovat rychlé změny vstupního signálu. Proto je účelné využívat speciálních spínacích tranzistorů, které mají obzvláště krátké spínací časy. Jedná se většinou o epitaxní tranzistory, které mají velmi malé odpory materiálů kolektoru a emitoru a mají proto velmi malá zbytková napětí. Tím je i jejich ztrátový výkon v sepnutém stavu menší. [2]

3.9 Emitorový sledovač

Na Obr. 13 je obvodové schéma tranzistoru zapojeném s SE a výstupem z emitoru. Takového obvodové kombinaci zapojení říkáme emitorový sledovač. Emitorový sledovač má jednu základní vlastnost a to, že neobrací fázi výstupního signálu ku vstupnímu. Při výstupu z kolektoru jsme mohli pozorovat fázový posuv signálu o 180° , nebo-li výstupní signál byl inverzní. V případě dle Obr. 13 sleduje výstupní signál vstupní svým průběhem, proto říkáme sledovač. Emitorový proto, že výstup je veden z emitorového výstupu tranzistoru. [1]



Obr. 13 Emitorový sledovač se stejnosměrným vstupem

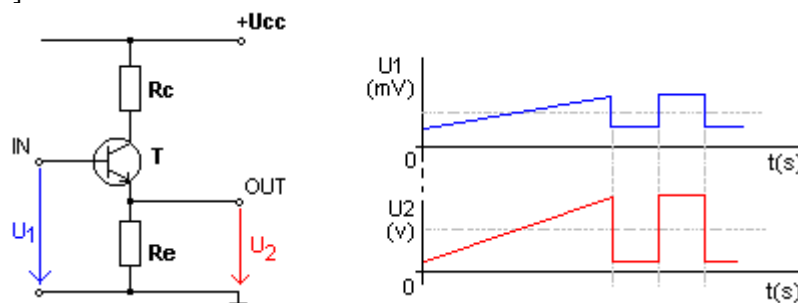
Na Obr. 13 je nejjednodušší a velmi používaný způsob zapojení emitorového sledovače. Předpokladem pro správnou činnost tohoto obvodu je vyšší vstupní napětí U_1 . Z použité přímé vazby vstupního signálu je patrné, že hodnota vstupního napětí se rozdělí na úbytek napětí na vnitřním odporu tranzistoru a na úbytek R_e . My víme, že tranzistor jako polovodičová součástka začíná správně pracovat až po dosažení prahového napětí (asi 0,5 V). Díky této skutečnosti můžeme pozorovat v časové charakteristice místo (zelené kolečko), kde vstupní pilovitý průběh je na výstupu ignorován. Jedná se o tvarové zkreslení způsobené vlastností PN přechodu. [2]

Využití emitorového sledovače je široké. Často se používá v obvodech jako nefunkční stabilizační prvek. Uvažujme, že vlivem předchozích obvodových zapojení nebo přenosu obdélníkového průběhu dojde ke snížení výkonu signálu. Obecně se říká, že signál změkne. V praxi to znamená, že hlava obdélníku má sice jmenovité napětí, ale při nepřiměřeném zatížení má napětí tendenci klesat. Jinak řečeno, obdélníkový průběh nedovede dodávat takový proud, které vyžadují vstupní části dalších navazujících obvodů. Vložením emitorového sledovače se obdélníkový impuls výkonově zvětší, a opomineme-li vlastní tvarové zkreslení tranzistoru, nezmění svůj průběh (výstup sleduje vstup). Princip stabilizace spočívá v tom, že vstupní impedance je dána součtem R_e a vnitřního odporu tranzistoru, která je vysoká. Budící proud tranzistoru je minimální a neznehodnotí proto napěťovou úroveň vstupního obdélníku. Naopak výstupní napětí dosahuje téměř $+U_{cc}$ (odečteme-li úbytek napětí na vnitřním odporu přechodu kolektor-emitor) a jeho proud je dán výkonem zdroje $+U_{cc}$ a maximálním přípustným kolektorovým proudem tranzistoru. Výsledkem je to, že takovýto obdélník můžeme už připojit k nižším vstupním impedancím navazujících obvodů. [1]

Na Obr. 13 jsme připojili kolektor tranzistoru přímo na $+U_{cc}$ a tím jsme zajistili, že při maximálně otevřeném přechodu kolektor-emitor, se objeví na výstupním emitoru téměř $+U_{cc}$. Ukázali jsme si reakci pilovitého průběhu na změnu tvaru. Vzhledem k zesilovacím vlastnostem tranzistorů (h_{21e}), byla problematika spíše zaměřená na tranzistory spínací (nízké h_{21e}) a pro signál obdélníkového průběhu. Díky přímému připojení kolektoru na $+U_{cc}$ by byl problém řídit lineárně změnu výstupní pily jak tomu bylo na Obr. 13. Takový obvod bychom realizovali pouze při použití tranzistoru s velmi vysokým h_{21e} . [1]

Spínací tranzistory díky svým charakteristikám nedovedou přinášet dynamické změny. Tyto tranzistory respektují dva stavy: kolektorový proud teče nebo neteče. Oblast mezi těmito

stavy je velmi malá a pro zpracování dynamického signálu nepoužitelná. Při použití tranzistoru s vyšším h_{21} a vložením kolektorové rezistoru dostáváme obvodové zapojení dle Obr. 14. [1]



Obr. 14 Emitorový sledovač s vstupním superponovaným signálem

Předpokladem pro správnou činnost obvodu dle Obr. 14 je to, že vstupní signál musí být superponován na takové napětí, které zajistí dobré pracovní podmínky pro tranzistor. Vzhledem k účelu tohoto obvodu budeme uvažovat nastavení pracovní třídy tranzistoru A-B, tudíž s nižším zesílením a nižším tvarovým zkreslením. Pro lepší vnímavost dynamiky nepoužijeme harmonický signál, ale pilu a razantnější obdélníkový průběh. Pomocí odporů R_c , R_e a vhodným nastavením vstupního superponačního napětí nastavíme pracovní oblast tranzistoru do jeho nejlineárnější částí charakteristik. Hodnota vstupního napětí bude vytvářet budící bázev proud (u bipolárních tranzistorů), který bude lineárně měnit přechodový odpor tranzistoru kolektor-emitor. Bude-li hodnota vstupního signálu rovna superponačnímu napětí U_1 , bude spadat na oporu R_e napětí U_2 , které tvoří nové výstupní napětí U_2 . Pomocí hodnot R_e a R_c lze nastavit optimální hodnotu U_2 , která se dá zjistit výpočtem (resp. R_e). Kladnější a zápornější hodnoty napětí U_1 od superponační přímky budou způsobovat synchronní nárůsty a poklesy napětí U_2 od výstupní superponační přímky. Dle optimálního nastavení hodnot součástek lze dosáhnout dynamičtějších změn, nebo-li signál zesílit. Zesílení nebývá zpravidla vysoké (při zachování dobrého tvarového zkreslení). Pomocí kapacitní vazby lze měnit superponační napětí. Nemění se dynamika signálu. Uvedli jsme, že nelze superponovat sinus signál s malou diferencí na vyšší napětí. Signál by se ztratil. Tuto situaci řeší právě uváděný obvod. Ten kromě změny (zvýšení) superponačního napětí změni (zvýší) úměrně dynamiku signálu dle hodnoty výstupního superponačního napětí. [1]

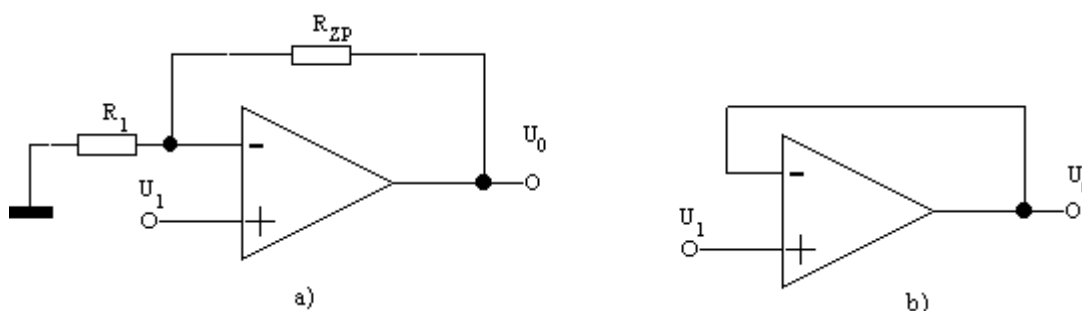
3.10 Neinvertující operační zesilovač

U neinvertujícího zesilovače je neinvertující vstup připojen k obvyklému odporovému děliči, tvořenému vstupním odporem R_1 a zpětnovazebním odporem R_{ZP} . Invertující vstup je připojen k vstupnímu napětí. Zesílení u neinvertujícího zesilovače je téměř stejné jako u invertujícího, rozdíl je ale v polaritě napětí. Napětí je dáno vztahem:

[3]

$$U_0 = U_1 \cdot \left(1 + \frac{R_{ZP}}{R_1} \right)$$

(3)



Obr. 15 a) Základní zapojení neinvertujícího zesilovače. b) Neinvertující zesilovač jako impedanční převodník. [3]

I v tomto případě je rozhodující poměr zpětnovazebního a vstupního odporu, ale zvětšený o jedničku. Díky této jedničce nemůže být nikdy výraz v závorce menší než jedna, a proto ani zesílení nemůže být záporné. [3]

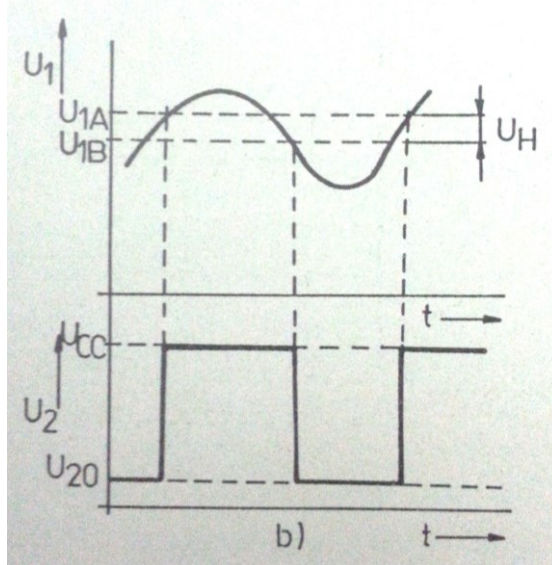
U neinvertujícího zesilovače je výstupní signál ve fázi se vstupním signálem. Nejdůležitější vlastností neinvertujícího zesilovače je vysoký vstupní odpor. Ten je velmi cenný, protože v případě připojení k měkkému zdroji nedochází k zatěžování zdroje. Neinvertující zesilovač je dokonale souměrný a pracuje se stejnosměrným i střídavým napětím. Protože oba vstupy jsou na úrovni vstupního signálu (nikoliv na nulové úrovni), musíme dbát o co nejlepší potlačení součtového signálu, označovaného jako CMR. Přičemž součtovým napětím rozumíme část napětí, která je společná oběma vstupům. Projevuje se jako zdroj chybového napětí a zhoršuje linearitu přenosu. [3]

Krajní variantou neinvertujícího zesilovače je zapojení podle Obr. 15b, kde chybí oba dva odpory, takže výstup je přímo spojen s invertujícím vstupem. Toto zapojení slouží jako impedanční člen mezi dvěma obvody. Má za úkol oddělit předchozí obvod od následujícího, aby první obvod nebyl zatěžován. Přiváděné napětí se nezesiluje, zesílení impedančního členu je rovno jedné. Podstatné však je, že toto zapojení má vstupní odpor řádově desítky megaohmů a výstupní prakticky nulový. Proto impedanční člen (impedanční převodník) nalezneme za obvody, které nesnesou ani nejmenší zatížení. Běžně se zapojuje k výstupu různých generátorů, aby následující obvody nezpůsobily zkreslení průběhu signálu a nebyly příčinou nestability vlivem připojené zátěže. [3]

3.11 Schmittův klopný obvod

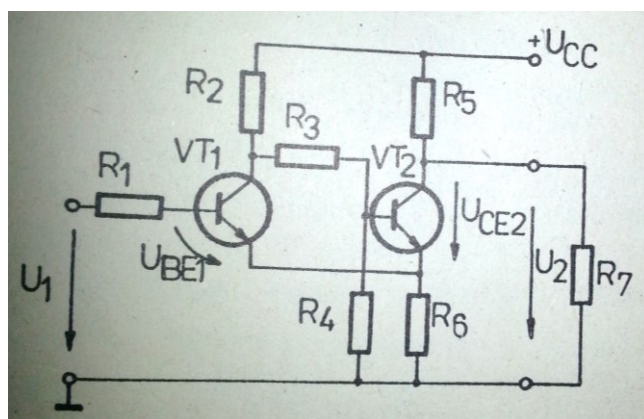
Schmittův klopný obvod lze přiřadit ke zvláštním bistabilním klopným obvodům. Tento obvod má jeden stav stabilní a do druhého nestabilního stavu se překlápí pouze na dobu, kdy je vstupní signál větší, než je určitá zvolená vstupní úroveň. Tato funkce klopného obvodu je znázorněna na Obr. 16. Z něhož je zřejmé, že Schmittův klopný obvod budeme nejčastěji využívat jako tvarovač vstupního napětí signálu nebo jako indikátor úrovně vstupního signálu. [4]

Z hlediska obvodového se jedná o dvoustupňový zesilovač s kladnou zpětnou vazbou, která je vytvořena prostřednictvím společného emitorového rezistoru R_G obou tranzistorů Obr. 17. Součástky jsou přitom navrženy tak, aby zesílení otevřené smyčky bylo větší než jedna a aby tedy obvod nabýval pouze dvou ustálených stavů. [4]



Obr. 16 Schmittův klopný obvod časové průběhy.

[4]



Obr. 17 Schmittův KO principiální zapojení

[4]

Výpočet RC filtru:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad (5)$$

Zesílení operačního zesilovače:

$$A_u = 1 + \frac{R_7}{R_6} = 2 \quad (6)$$

Střední hodnota PWM:

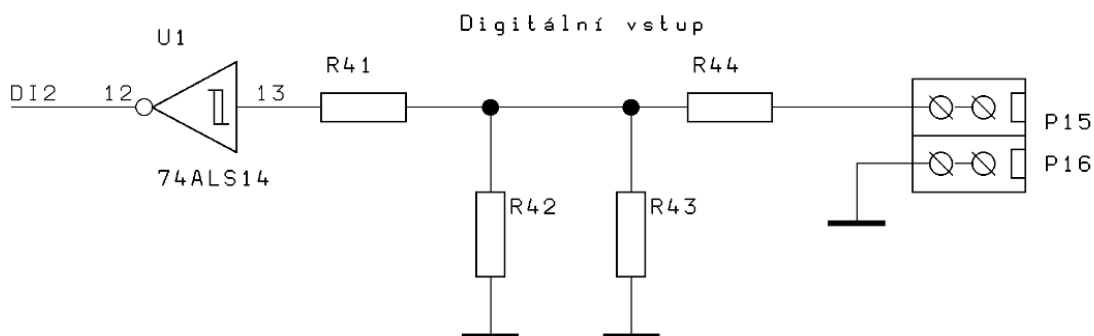
$$\frac{1}{T} \int_0^T w_{av}(t) dt \quad (7)$$

Průměrné hodnota napětí:

$$w_{av} = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} w[m] \quad (8)$$

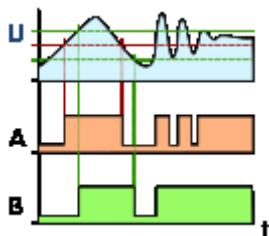
4.3 Digitální vstupy

Veškeré digitální vstupy jsou konfigurovány jako nízkonapěťové vstupy s úrovní 3,3 V. Vstupy DI0, DI1, DI2, DI3, DI5, DI7 jsou hardwarově ošetřeny Schmittovým klopným obvodem. Každý vstup má svorku pro vstup a svorku pro společnou zem tak, aby bylo možné pohodlné připojení digitálního vstupu. Pro možné speciální aplikace nejsou DI4 a DI6 osazeny Shmittovým KO. Digitální vstupy také obsahují jak je vidět na Obr. 20 nulové rezistory. Jsou zde z důvodu možné hardwarové rekonfigurace vstupu například osazením RC filtrů popřípadě děličů napětí. V reálné aplikaci jsou zapájeny pouze horizontální rezistory v tomto případě R41 a R44.



Obr. 20 Obecný digitální vstup osazen nulovými odpory a Schmittovým klopným obvodem

Pro Schmittův KO jsem se v tomto zapojení rozhodl pro to, že unikátní funkcí tohoto ho je schopností a základní vlastností je hystereze. To znamená, že jeho výstup je závislý nejen na hodnotě vstupu, ale i na jeho původním stavu. Hystereze, která je jindy nežádoucí, má zde své opodstatnění v tom, že zabraňuje vzniku zámkitů výstupního signálu v okolí střední úrovně spínání. Zjednodušeně řečeno díky tomuto KO dosáhneme vyhlazeného vstupního digitálního signálu, jak můžete vidět na Obr. 21.[4]



Obr. 21 Hystereze Schmittova KO U-vstupní signál, A-bez hystereze, B-s hysterezí

Typ 74ALS14 je 14 pinový integrovaný obvod, který obsahuje 6 Schmittových obvodů a jeho napájecí napětí je 5V. Vstupní prahová hodnota je 5V a maximální výstupní je v rozmezí 4.5-5V což je pro tuto aplikaci postačující.

4.4 Digitální výstupy

Digitální výstupy jsou rozděleny na obecné Obr. 22 a výkonové Obr. 23. Obecné výstupy DO4, DO5, DO6, DO7 jsou konfigurovány jako nízkonapěťové vstupy s úrovní 3,3 V. Výstupy DO0, DO1, DO2, DO3 jsou výkonové a jejich napěťová úroveň dosahuje 12V. Pro správnou funkci této skupiny je nutné přemostit svorky 12V IN a 12V OUT Obr. 27, nebo přivést externí zdroj do svorky 12 V OUT Obr. 27. Každý výstup má svorku pro výstup a svorku pro společnou zem tak, aby bylo možné pohodlné a přehledné připojení digitálního výstupu.

4.4.1 Popis funkce obecného výstupu

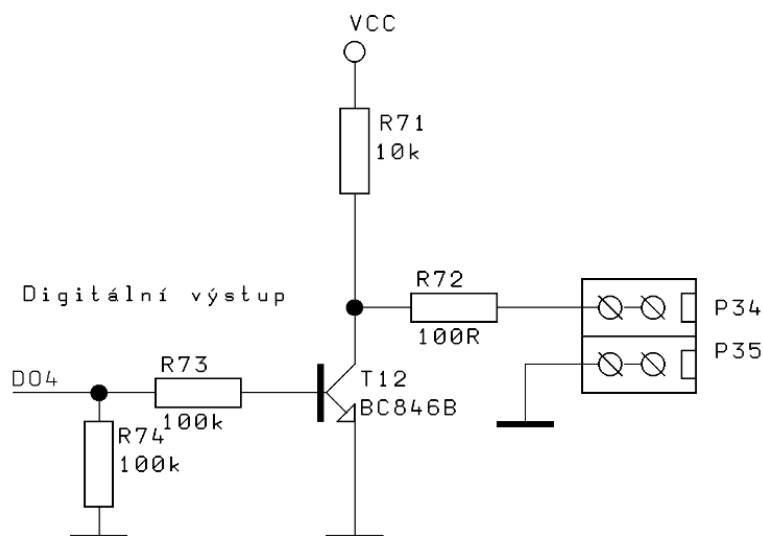
Obecný výstup je připojen na výstup Kinetis K60 a osazen o spínací zesilovač s tranzistorem Bc846B. V zapojení spínacího zesilovače dojde k fázovému posunu 180° proto je nutné o tomto faktu informovat programátora. Ve schématu Obr. 22 R73 a R74 slouží k definování sepnutí tranzistoru. R74 je takzvaný pulldown rezistor, který slouží k zvýšení vstupního odporu zesilovače a tím zamezení nechtěnému spínání nežádoucími signály, které se mohou na vstup naindukovat. R73 slouží k omezení báze proudů I_b výpočet dle vzorce (9):

$$R_{73} = \frac{U_{in} - U_{BE}}{I_b} = \frac{3,3 - 0,7}{0,000026} = 100\,000\Omega \quad (9)$$

Zvolený proud je záměrně tak malý proto, aby nedošlo ke zbytečnému zatížení výstupu Kinetis K60. R71 dosáhneme výpočtem (10)

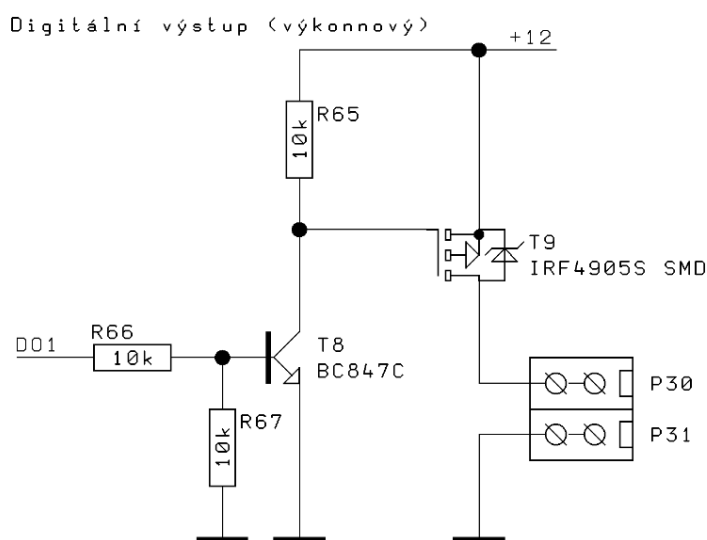
$$R_{71} = \frac{U_{cc}}{I_c} = \frac{5}{0,005} = 10\,000\Omega \quad (10)$$

A tímto je dosaženo nastavení stabilizace pracovního bodu tohoto spínacího zesilovače. Výstupní napětí je tedy rovno napájecímu což je 5 V



Obr. 22 Obecný digitální výstup

4.4.2 Popis funkce výkonového výstupu



Obr. 23 Výkonový digitální výstup

Tento výkonový digitální výstup je připojen na výstup Kinetis K60. Základem tohoto výstupu je spínací zesilovač s tranzistorem BC847C. V zapojení spínacího zesilovače dojde k fázovému posunu 180° proto je nutné o tomto faktu informovat programátora. Ve schématu Obr. 23 R66 a R67 slouží k definování sepnutí tranzistoru T8. R67 je takzvaný pulldown rezistor, který slouží k zvýšení vstupního odporu zesilovače a tím zamezení nechtěnému spínání nežádoucími signály, které se mohou na vstup naindukovat. R66 slouží k omezení bázevého proudu I_b výpočet dle vzorce (11). Na rozdíl od obecného výstupu tento obvod obsahuje také výkonový prvek v podobě T9 což je MOSFET tranzistor zapojený jako emitorový sledovač. V této aplikaci se tedy T9 chová jako spínané relé ovládané výstupem T8. Výstupní napětí je tedy rovno napájecímu což je 12 V.

$$R_{66} = \frac{U_{in} - U_{BE}}{I_b} = \frac{3,3 - 0,7}{0,00026} = 10\,000\Omega \quad (11)$$

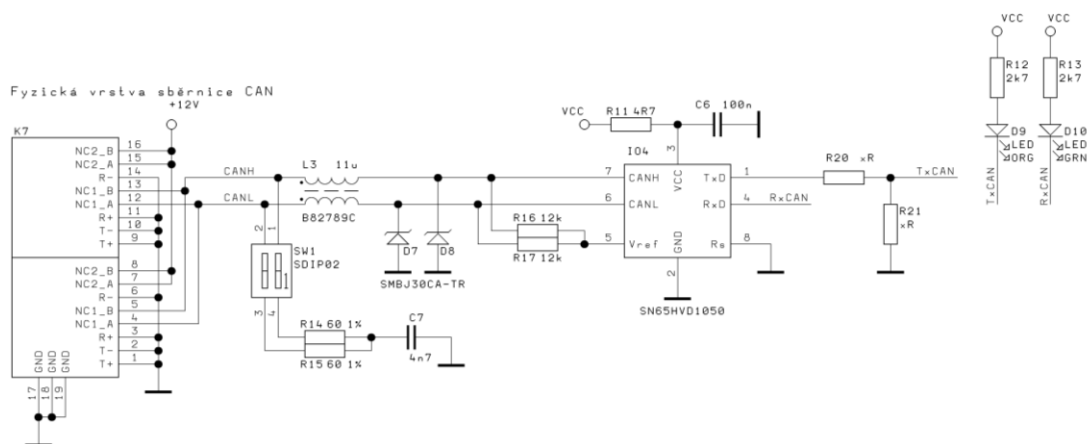
Zvolený proud je záměrně tak malý proto, aby nedošlo ke zbytečnému zatížení výstupu Kinetis K60. R65 dosáhneme výpočtem:

$$R_{65} = \frac{U_{cc}}{I_c} = \frac{12}{0,0012} = 10\,000\Omega \quad (12)$$

4.5 Sběrnice USB, CAN

4.5.1 Sběrnice CAN

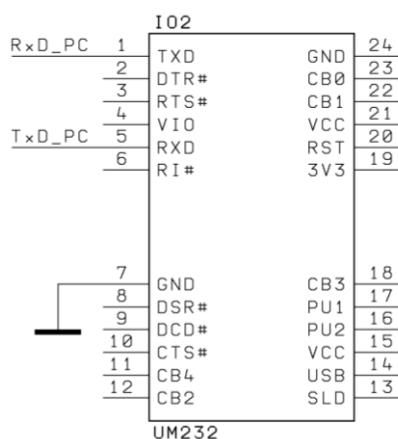
Jelikož sběrnice CAN funguje na fyzické vrstvě, vycházející ze sběrnice RS422/423/485, tedy signál je veden jako rozdíl napětí na dvou vodičích, je nutno použít integrovaného obvodu pro změnu napětíových úrovní SN65HVD1050. Připojení je realizováno dvojitým konektorem RJ45, jehož obě přípojky jsou spojeny. Přes konektor je také realizován přenos napájecího napětí 12 V pro oba měřící moduly. To je vedeno pro kroucené dvojlinky UTP kabelu, kdy ostatní vodiče jsou použity pro vedení +12 V a 0 V.[13]



Obr. 24 Fyzická vrstva sběrnice CAN

4.5.2 Sběrnice USB

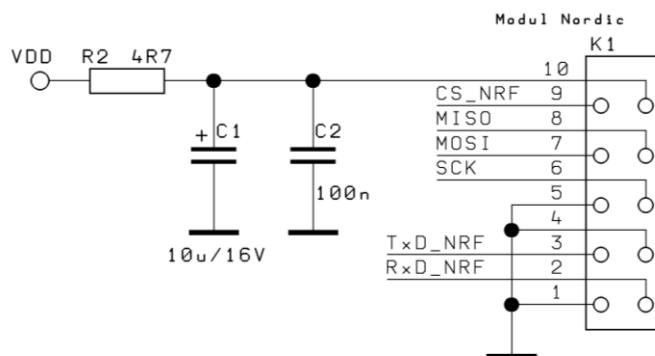
Pro vytvoření fyzické vrstvy USB jsem se rozhodl pro využití komerčního řadiče UM232 který jsem pouze připojil na komunikační vstupy Kinetis K60. Díky tomuto řešení se docílilo ušetření času a také finančních prostředků pro vyvinutí zcela nového řadiče.



Obr. 25 Usb řadič pro Kinetis K60

4.6 Nordic module

Stejně jako u USB řadiče jsem se rozhodl využít již vytvořený komunikační Nordic modul. Pro Nordic modul jsem vyčlenil speciální konektor, který je připojen podle zásad SPI sběrnici Kinetis K60. Opět je zde na napájecím napětí umístěn RC filtr, aby nedocházelo k přenosu harmonických složek.

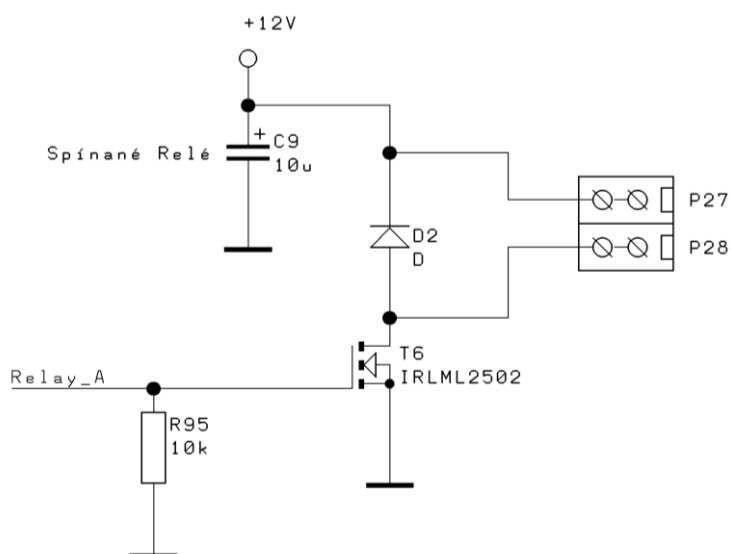


4.7 Relé

Základem tohoto obvodu je výkonový tranzistor který zde používáme pro spínání země. V hlavním modulu jsou obsaženy dvě taková zapojení. Pro tyto relé obvody slouží společná svorka +12 V s filtračním kondenzátorem napájecího napětí. Dioda D2 je zde z důvodu ochrany proti přepólování svorek a ochraně obvodu proti zkratu. R2 má funkci pro zvýšení vstupního odporu a tím zamezení nechtěnému

Relé jsou zapojeny tak, že při vypnutí či sepnutí obou relé současně je motor zkratován (brzděn) a zdroj je od motoru odpojen. Pohyb vpřed či vzad se realizuje sepnutím jednoho z dvojice relé.

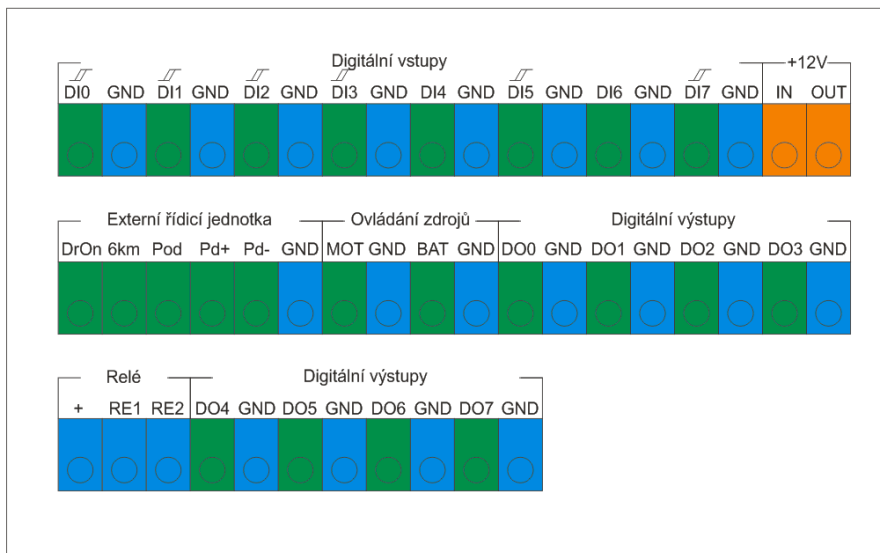
Jelikož při odpadnutí kontaktů obou relé je motor odpojen od zdroje a zároveň zkratován, dojde k jeho velmi rychlému zastavení. Toto je výhodné zejména z důvodu bezpečnosti a zároveň je toto vhodné pro test rychlého zastavení pedálů.



Obr. 26 Spínaný tranzistor v podobě tranzistorového relé.

5 Návrh koncepce

5.1 Zapojení hlavního modulu



Obr. 27 Hlavní modul (čelní pohled)

5.1.1 Zdroj je napětí

Tyto dvě svorky slouží k napájení výkonových vstupů.

Svorka OUT je napájecí svorkou pro výkonové výstupy pro externí zdroj, nebo z interního zdroje. Svorka IN je interní zdroj 12 V. Tento zdroj není určen k velkému proudovému zatížení. Max 1 A. Pro funkci výkonových výstupů je nutné buď přemostit IN a OUT, nebo přivést externí zdroj 12 V do svorky OUT.

5.1.2 Externí řídicí jednotka

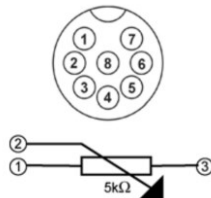
Tato skupina svorek slouží k připojení externí řídicí jednotky, kterou je běžně osazován E-bike. Díky tomuto je možné testovat kromě motorů také řídicí jednotky. Primárně je však tato skupina svorek určena k připojení řídicí jednotky tak, aby bylo možné testovat motor E-bike. [11]

Význam svorek externí řídicí jednotky

- DrOn – Zapnutí řídicí jednotky
- 6km – Zapnutí 6 km/h podpory
- Pod – Nastavení úrovně podpory
- Pd+, Pd- – Simulátor šlapání pedálu dopředu
- Společná svorka GND

5.1.3 Ovládání zdrojů

Hlavní modul je schopen ovládat zdroje motoru a simulátoru baterie pomocí napěťových svorek „ovládání zdrojů“. Ke svorce MOT a GND je připojen zdroj motoru. Ke svorce BAT a GND je možné připojit zdroj simulátoru baterie.

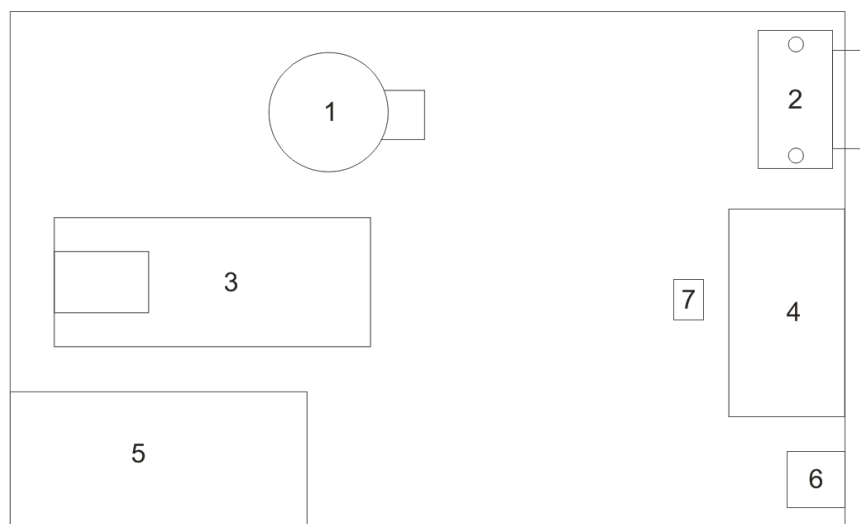


Obr. 28 Zapojení konektoru ovládání

Ovládací kabel zdroje je připojen zezadu do 9-ti pinového konektoru dle Obr. 28. Zdroj lze ovládat připojením napětí v rozsahu 0 – 5 V. Ovládání zdroje je proto připojeno takto: [11]

- 3 je záporný pól GND
- 2 je ovládací napětí (svorka MOT nebo BAT)

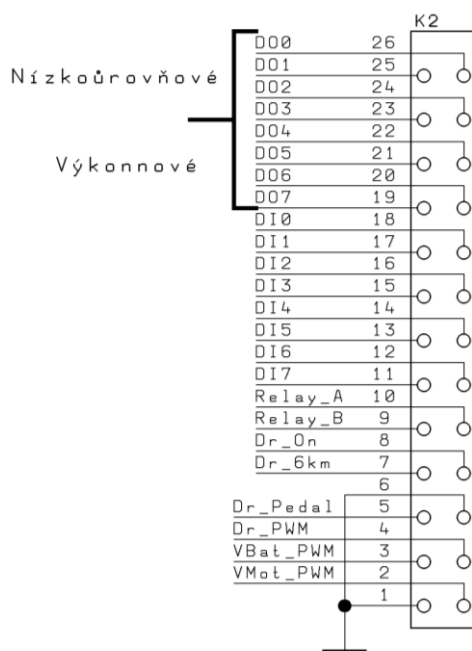
5.1.4 Konektory



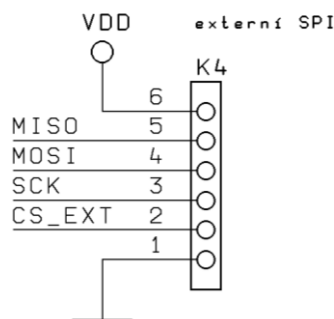
Obr. 29 Hlavní modul (zadní pohled)

1. Záložní baterie pro hodiny reálného času (nepoužito)
2. CANNON9 konektor pro připojení snímače otáček motoru pedálů
3. USB rozhraní pro připojení měřicí a testovací stanice k počítači
4. Konektor sběrnice CAN
5. Bezdrátové rozhraní elektronické brzdy
6. Napájecí konektor 12 V DC
7. Spínače terminačních rezistorů sběrnice CAN

[11]



Obr. 30 Zapojení mostícího kabelu mezi hlavní částí a vstupně/výstupní



Obr. 31 Zapojení konektoru pro externí SPI

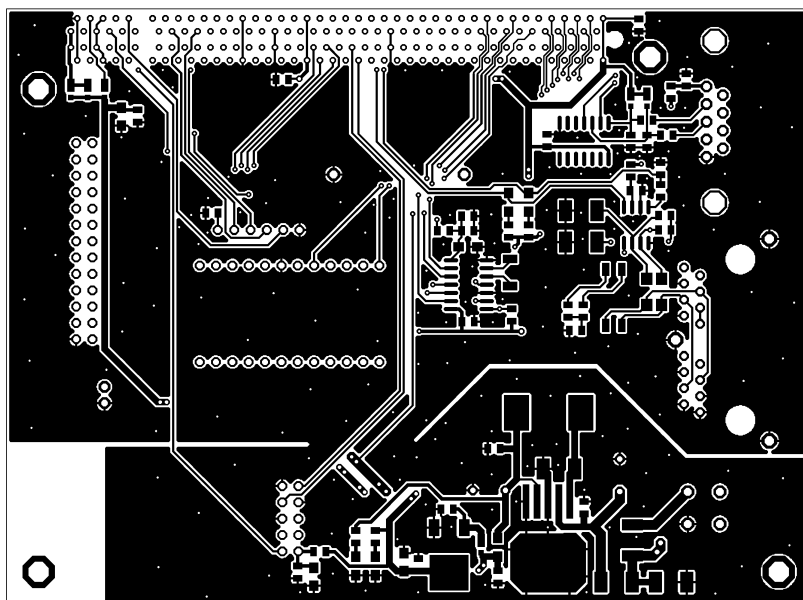
6 Návrh a realizace plošného spoje modulu

6.1 Periferie

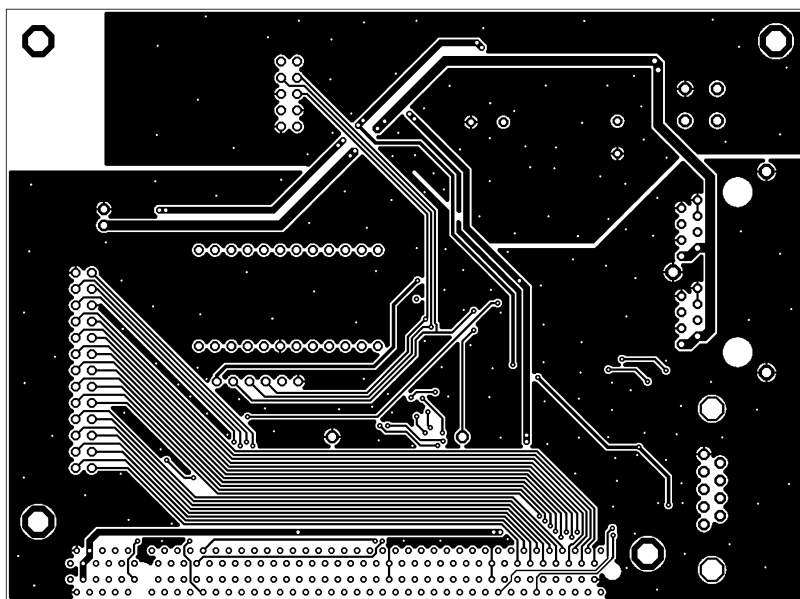
Pro návrh a realizaci desky plošného spoje jsem se rozhodl vyžít profesionální systém Formika 4.40 pro návrh a realizaci desek plošného spoje. Pro tento program jsem se rozhod na základě doporučení od mého vedoucího bakalářské práce. Po absolvování školení na práci s tímto programem jsem začal překreslovat návrhy schémat.

6.2 Deska plošných spojů

Z důvodu obsáhlosti celé koncepce hlavního modulu jsem se rozhodl o rozdělení desky plošného spoje na dvě části, které jsou mezi sebou propojeny mosticím kabelem Obr. 30. Toto rozdělení má za důsledek nahrazení bočních pasivních částí systému Tower a propojeny s Kinetis K60 pomocí SPI (F)konektoru. Vzhledem k daným minimálním rozměrům jsou desky řešeny jako dvouvrstvé, kdy se u hlavní části modulu všechny součástky nacházejí na straně součástek (vrchní strana) a u vstupně/výstupní části z obou stran. Desky jsou také potaženy nepájivou maskou pro konformnost při následném pájení a také ochranou proti oxidaci. Hlavní část je propojena s Kinetis K60 přes jeho primární SPI konektor a obsahuje připojení ke sběrnici CAN a USB, modul Nordic, F-RAM paměť a stabilizované zdroje napětí. Vstupně/výstupní část jak již název napovídá, obsahuje vstupní obvody, výstupní obvody, D/A převodníky, spínané relé, možnost přivedení externí napěťové podpory pro výkonové výstupy a v neposlední řadě LED indikaci všech vyskytujících napětí.



Obr. 32 Hlavní část pohled shora (strana součástek)

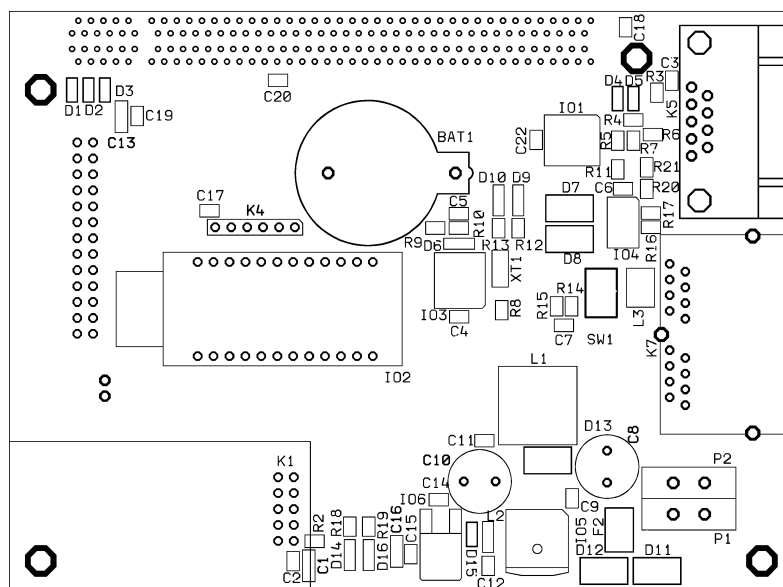


Obr. 33 Hlavní část pohled spodní pohled

6.3 Osazovací plán

6.3.1 Hlavní část modulu

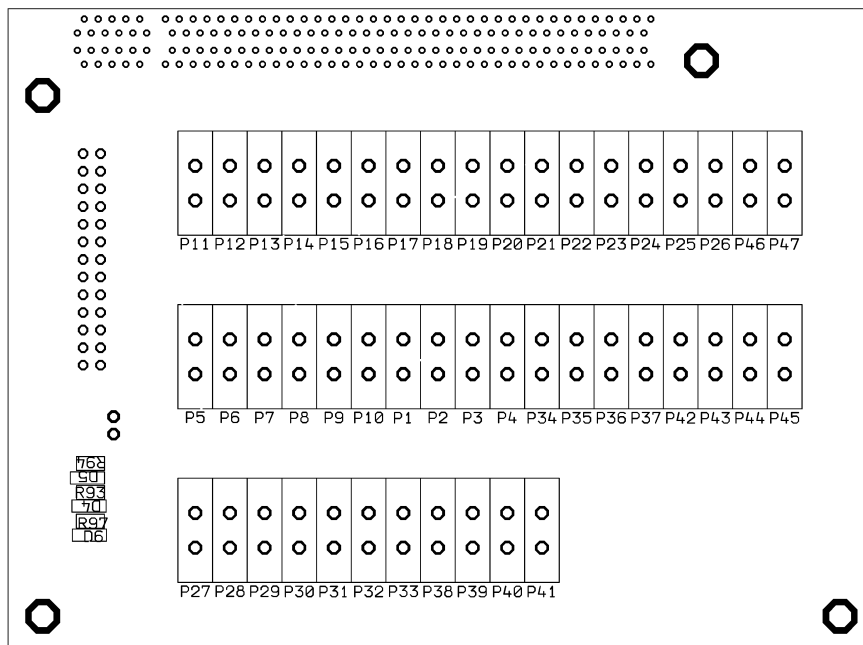
Součástky se nacházejí pouze na straně součástek. Z tohoto důvodu je zde uvedena pouze vrchní strana desky. Deska obsahuje i potisk k snazší manipulaci a osazování.



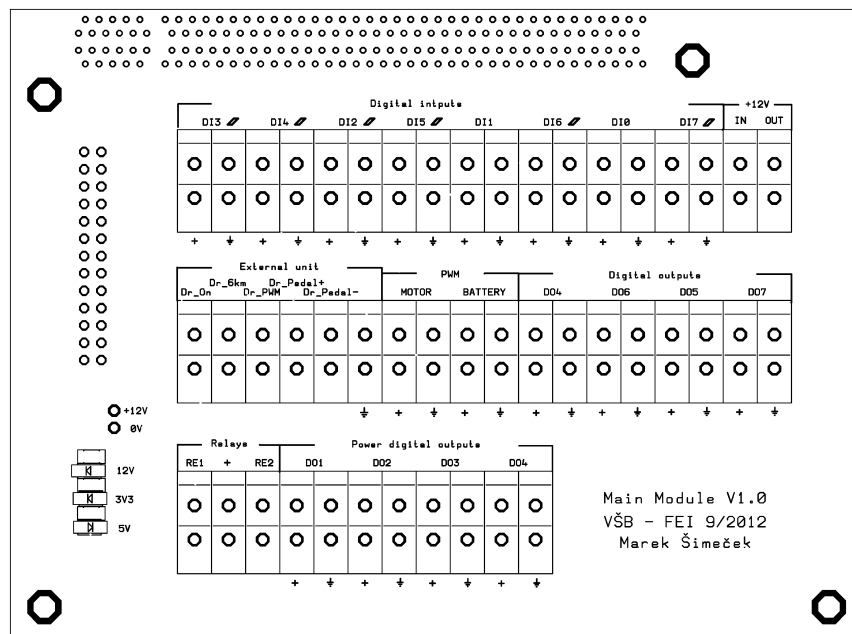
Obr. 34 Osazovací plán hlavního části modulu

6.3.2 Vstupní/výstupní modul

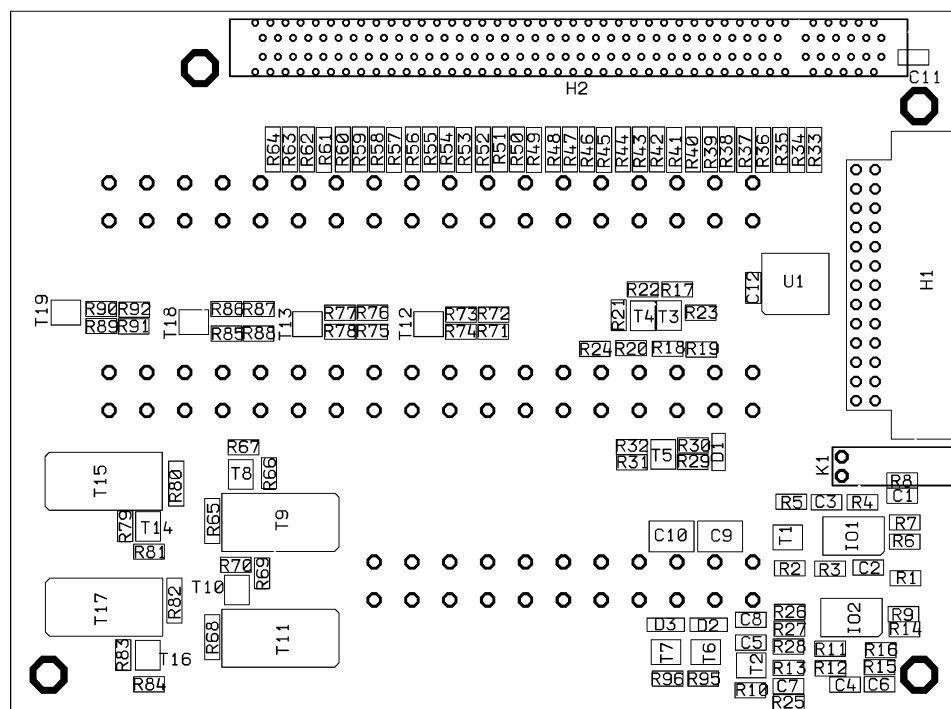
Součástky se nacházejí po obou stranách. Z tohoto důvodu je zde uvedena jak vrchní strana tak i spodní strana desky. Deska obsahuje i potisk k snazší manipulaci a osazování. Na horní straně desky vstupního/výstupního modulu jsou osazeny wago svorky za účelem co největší přehlednosti podle návrhu na Obr. 27.



Obr. 35 Osazovací plán horní strany desky vstupního/výstupního části modulu



Obr. 36 Servisní potisk svrchní strany



Obr. 37 Osazovací plán spodní strany desky vstupního/výstupního části modulu

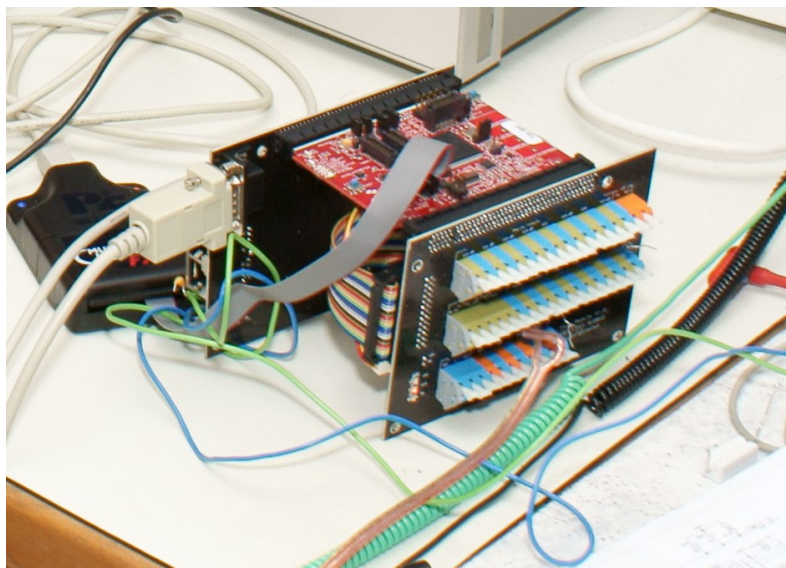
7 Implementace modulu do finálního zařízení a testování

7.1 Testování

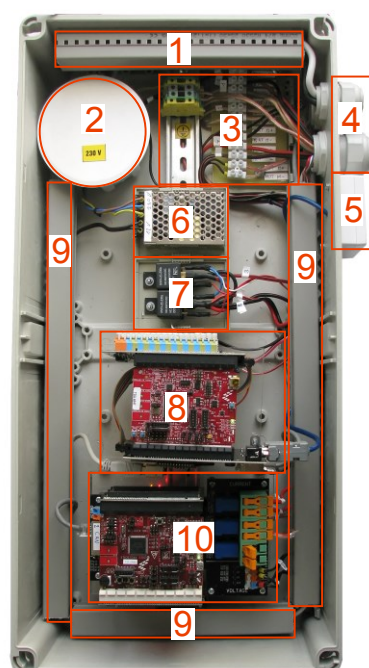
Po osazení a zapájení součástek na desky plošných spojů bylo možné modul začít testovat. Testování modulu probíhalo po fázích. Nejprve se uvedly do provozu zapojení se stabilizátory. Jakmile byly stabilizátory připojeny k napájecímu napětí 12V provedla se voltmetrem kontrola jejich výstupních napětí. Po tomto ověření správné funkce bylo možné začít testovat jednotlivě všechny vstupy a výstupy. Test vstupů se prováděl za pomoci generátoru a osciloskopu. Kdy se jako vstup připojil generátor a na výstup se připojil osciloskop. Tento stejný postup se opakoval i u výstupů. Po proměření vstupů a výstupů bylo možné připojit Kinetis K60 a začít za spolupráce programátora oživovat vstupy a výstupy. Poté následovalo připojení měřícího modulu a bylo možné začít komunikovat pomocí sběrnice CAN.

7.2 Implementace

Po ověření a otestování modulu bylo možné začít ho implementovat do koncepce celé měřící a testovací stanice. Hlavní modul zajišťuje komunikaci mezi řídicím PC a měřícími moduly. Hlavní modul je konstruován pro budoucí rozšíření stanice a z tohoto důvodu je osazen tolika vstupy a výstupy. Pokud se firma rozhodne o rozšíření měřící stanice o další různé prvky například teplotní čidla či nějaké jiné senzory, nebude problém je připojit.



Obr. 38 Hlavní modul připojený ke stanici



1. Lišta přívodu 230 V 50 Hz
2. Krabice rozvaděče NN 230 V 50 Hz
3. Připojnice pro vnější části stanice
4. Průchodky pro vyvedení kabeláže
5. Připojení snímače otáček
6. Zdroj 230 V AC na 12 V DC
7. Přepínání zpětného chodu motoru
8. Hlavní modul
9. Lišty pro vedení kabeláže MN
10. Měřicí modul

Obr. 39 Rozložení elektroniky v rozvaděči

8 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zhotovení funkčního modulu, který bude implementován do celé koncepce měřicí stanice. Modul měl vycházet z koncepce Tower systém firmy Freescale pro procesory K60 a měl zajišťovat hardwarové ošetření vstupů s výstupů procesoru. Tento modul měl zajišťovat bezdrátovou komunikaci mezi měřicí brzdou a také měl být schopen komunikovat po sběrnících, jako jsou SPI, USB a CAN. První částí této bakalářské práce bylo seznámení se s projektem pro firmu Bike Fun Internacional s.r.o. a zjištění jeho potřeb. Tato část je popsána v třetí kapitole této bakalářské práce což je teoretický rozbor druhů sběrnic a . Avšak časově nejnáročnější částí byl návrh obvodů a jejich realizace v podobě desek plošných spojů. Po vytvoření návrhu desek plošných spojů bylo možné jejich vyrobení a následné osazení součástkami. Oživování desek probíhalo po fázích. Nejprve se oživilo zapojení se stabilizátory poté jednotlivě všechny vstupy a výstupy. Po ověření a otestování hardwarové části bylo možné do Kinetis K60 nahrát program a otestovat komunikaci mezi měřicími moduly a PC. Po těchto testech bylo možné hlavní modul implementovat do celé koncepce stanice a následně umístit do rozvaděče. V současné době se hlavní modul i celá stanice nalézá v prostorách firmy, která již začleňuje stanici do výroby.

9 Seznam literatury

- [1] DORF, Richard C a James A SVOBODA. Introduction to electric circuits. 8th ed. Hoboken, NJ: John Wiley, c2010, xxiii, 886 p. ISBN 978-047-0521-571.
- [2] FROHN, M. *Elektronika: polovodičové součástky a základní zapojení*. 1. české vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 479 s. ISBN 80-730-0123-3.
- [3] PUNČOCHÁŘ, Josef. *Operační zesilovače v elektronice*. 4., dopl. vyd. Praha: BEN, 1999, 494 s. ISBN 80-860-5637-6
- [4] BRANDŠTETTER, Pavel. *ELEKTRONIKA*. dotisk 2. vydání. Ostrava: VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 1999, 459 s. ISBN 80-7078-966-2.
- [5] Externí sériové sběrnice SPI a PC. *Http://www.root.cz* [online]. 2008 [cit. 2013-15-02]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/externi-seriove-sbornice-spi-a-i2c/>
- [6] DATASHEET LF33. *Www.datasheetarchive.com* [online]. 2012 [cit. 2013-02-01]. Dostupné z: <http://www.datasheetarchive.com/LF33-datasheet.html>
- [7] TWRK60F120MUM Users manual. *Freescale.com* [online]. 2012 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/user_guide/TWRK60F120MUM.pdf
- [8] KONEČNÝ, Jaromír. *Merici a testovací stanice BIKEFUN* [online]. Ostrava, 2012 [cit. 2013-02-19]. Dostupné z: [svn://d400server.vsb.cz/bikefun_stanice/DOC/Dokumentace/Merici a testovací stanice BIKEFUN. Dokumentace Merici a testovací stanice BIKEFUN. VŠB-TUO.](svn://d400server.vsb.cz/bikefun_stanice/DOC/Dokumentace/Merici_a_testovaci_stanice_BIKEFUN.Dokumentace_Merici_a_testovaci_stanice_BIKEFUN.VŠB-TUO)
- [9] CAN bus. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-05-00]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/CAN_bus
- [10] ČVUT. *Controller Area Network (CAN)* [online]. Praha, 2008 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://measure.feld.cvut.cz/cs/system/files/files/cs/vyuka/predmety/x38ssl/CANPopis.pdf>
- [11] DATASHEET LM2595 [online]. 2012 [cit. 2012-11-06]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2595.pdf>
- [12] KAINKA, Burkhard. *USB. Měření, řízení a regulace pomocí sběrnice USB*. 1. vyd. Praha: BEN, 2002, 247 s. ISBN 80-730-0073-3.
- [13] DATASHEET SN65HVD1050D. *Www.alldatasheet.com/* [online]. 2010 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/131859/TI/SN65HVD1050D.html>
- [14] PWM. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation

10 Seznam příloh

Příloha A.....	I
Příloha B.....	VI
Příloha C.....	XIII
Příloha D.....	XV

Přílohy:

Příloha A

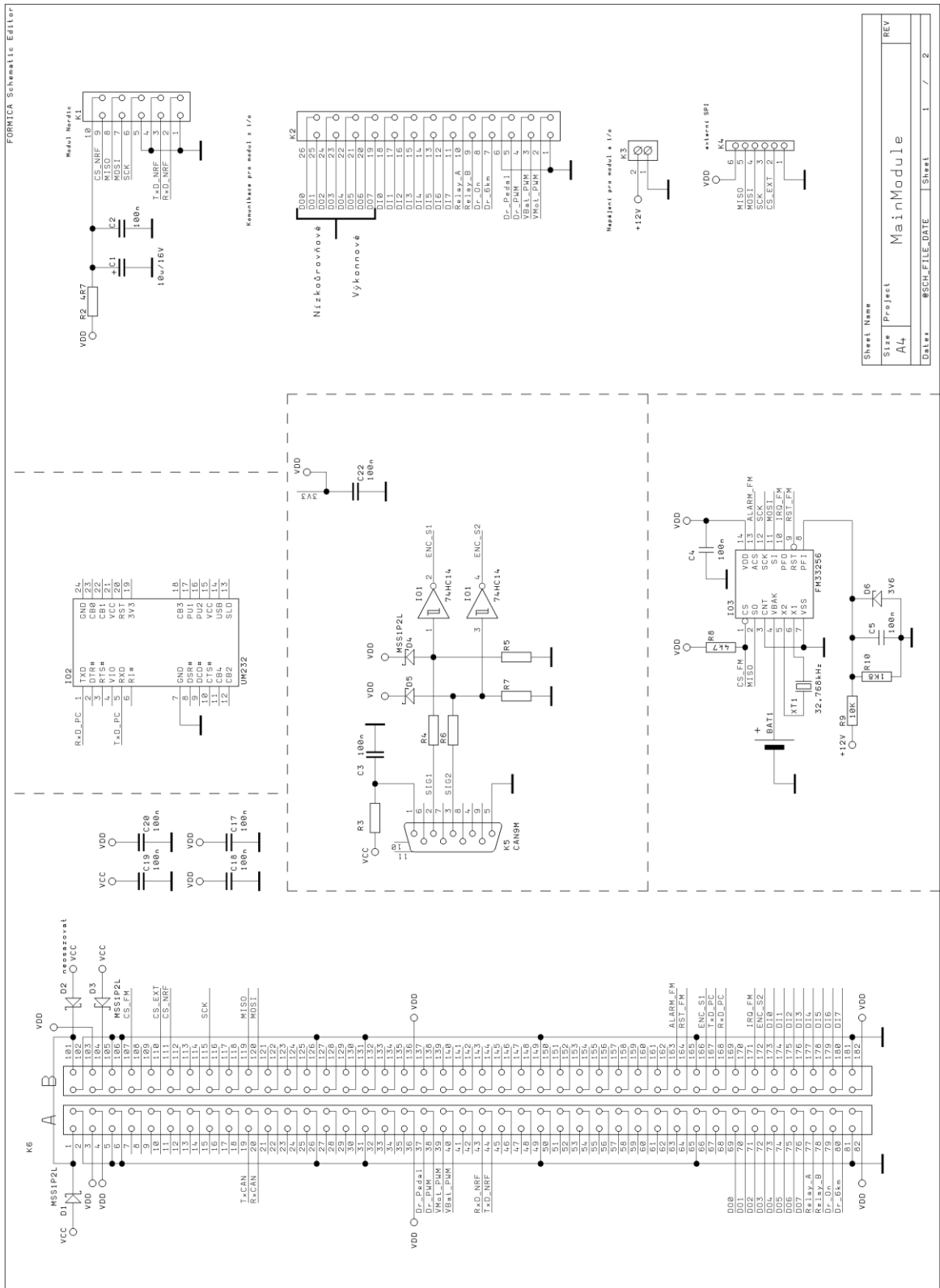
Seznam součástek pro hlavní část hlavního modulu					
Označení	Kusy	Typ součástky	Hodnota	Pouzdro	Komentář
BAT1	1	Baterie		BH2032	
C1	1	C POL	10u/16V	CTA	Elektrolytický kondenzátor
C2, C3, C6, C9, C4, C5 C11, C12, C14, C15, C17, C18, C19, C20, C22	15	C	100n	C0805	Keramický kondenzátor
C7	1	C	4n7	C0805	Keramický kondenzátor
C8	1	C POL	100u/35V	CR100	Elektrolytický kondenzátor
C10	1	C POL	220u	CR100	Elektrolytický kondenzátor
C13, C16	2	C POL	10u	CR100	Elektrolytický kondenzátor
D1, D3, D4, D5, D15	5	MSS1P2L		MICROSMP	Schottkyho dioda
D2	1	MSS1P2L		MICROSMP	Dioda neosazena
D6	1	BZX83V003,6	3V6	D1206	Zenerova dioda
D7, D8, D11	3	TRANSIL-U	SMBJ30CA-TR	SMB	Transil
D9, D16	2	LED	Oranžová	D1206	Led
D10	1	LED	Zelená	D1206	Led
D12	1	10BQ030		SMB	Dioda
D13	1	B140HB		SMB	Schottkyho dioda
D14	1	LED	Červená	D1206	Led
F2	1	Pojistka		F1812	
IO1	1	74HC14		SOP14	Shmittuv KO
IO2	1	UM232		UM232R	USB řadič
IO3	1	FM33256		SOP14	FRAM
IO4	1	SN65HVD1050		SOP8	Can
IO5	1	LM2595-5V		D2PAK	Stabilizovaný zdroj 5V

IO6	1	LF33		D3PAK	Stabilizovaný zdroj 3,3V
K1	1	HEADER-2X5		NORDICMODULE_V1	Konektor pro Nordic modul
K2	1	HEADER-2X13		MLW26A	Konektor pro mostící kabel mezi částmi
K3	1	ARK110/2		PSH02-W	Konektor pro externí přivedení napájení
K4	1	HEADER-1X6		S1G6	Konektor pro externí SPI sběrnici
K5	1	CAN9M		CAN9V90	Konektor pro CAN sběrnici
K6	1	PCI 164		PCIE168_TH	Konektor PCI sběrnice Samice 2x82 pinů
K7	1	RJ45TRANS		RJ45X2SH	Konektor pro připojení RJ45
L1	1	L	150u/2A	DR127	Cívka
L2	1	L	1u	L1206	Cívka
L3	1	L	11u	EIA1812	Cívka
P1, P2	2	WAGO_5MM		W256746	Wago konektor
R2, R3	2	R	4R7	R0805	Rezistor
R4, R5, R6, R7,	4	R		R0805	Rezistor nulový
R8	1	R	4k7	R0805	Rezistor
R9	1	R	10K	R0805	Rezistor
R10	1	R	1K8	R0805	Rezistor
R11	1	R	4R7	R0805	Rezistor
R12, R13, R19	3	R	2k7	R0805	Rezistor
R14, R15	2	R	60	R0805	Rezistor
R16, R17	2	R	12k	R0805	Rezistor
R18	1	R	3k3	R0805	Rezistor
R20, R21	2	R	xR	R0805	Rezistor
SW1	1	SDIP02		DIL2_SMD	Přepínač
XT1	1	XTAL	32,768kHz	ABS10	Oscilátor

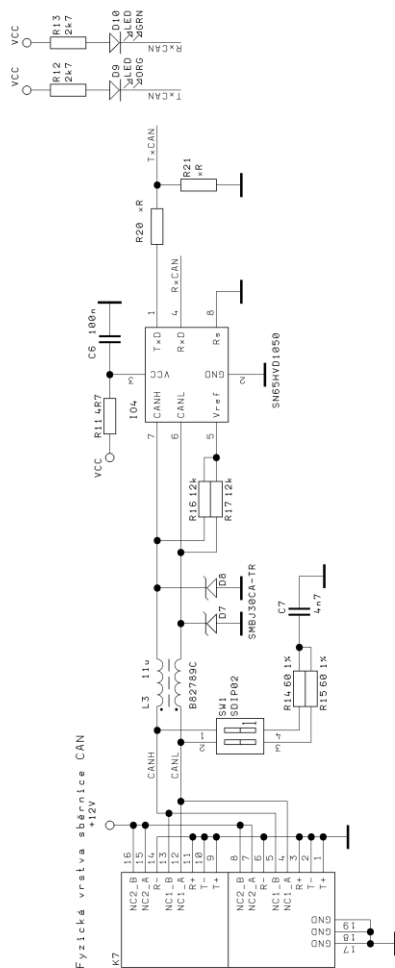
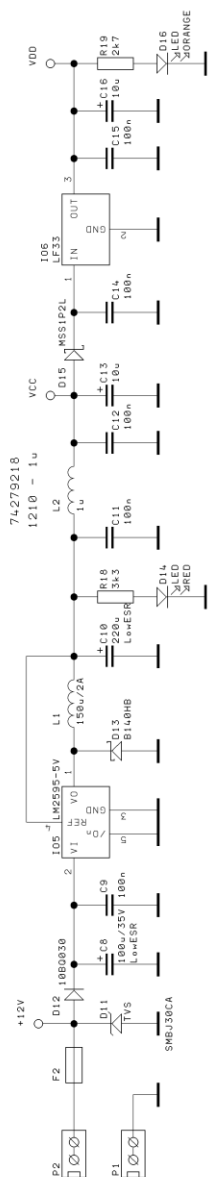
Tab A.1 Seznam součástek Hlavní části modulu

Zapojení elevátoru pro primární konektor Kinetis K60					
Strana A			Strana B		
Pin	Připojeno	Port	Pin	Připojeno	Port
1	Vcc	5V	101	Vcc	5V
3	Vdd	3,3V	103	Vdd	3,3V
4	Vdd	3,3V	104	Vdd	3,3V
19	TxCan	PTA17	110	CS_EXT	PTE5
20	RxCan	PTA16	111	CS_NRF	PTE27
36	Vdd	3,3V	115	SCK	ETH_RXCLK
37	Dr_pedal	PTC3	119	MISO	PTA12
38	Dr_PWM	PTA6	120	MOSI	PTA13
39	Vmot_PWM	PTC2	163	ALARM_FM	PTB8
40	Vbat_PWM	PTC1	164	RST_FM	PTC3
43	RxD_NRF	PTE9	166	ENC_S1	PTB18
44	TxD_NRF	PTE8	167	TxD_PC	PTC1
69	DO0	PTB11	168	RxD_PC	PTC2
70	DO1	PTB10	171	IRQ_FM	PTC11
71	DO2	PTC11	172	ENC_S2	PTB19
72	DO3	PTB19	173	DI0	PTB20
73	DO4	PTB20	174	DI1	PTB21
74	DO5	PTB21	175	DI2	PTB22
75	DO6	PTB22	176	DI3	PTB23
76	DO7	PTB23	177	DI4	PTC12
77	Relay_A	PTC12	178	DI5	PTC13
78	Relay_B	PTC13	179	DI6	PTC14
79	Dr_ON	PTC14	180	DI7	PTC15
80	Dr_6km	PTC15	182	Vdd	3,3V
82	Vdd	3,3V			

Tab A.2 Tabulka využitých pinů primárního konektoru Kinetis K60



Obr. A.1 Schéma zapojení hlavní části výkres č.1



Sheet Name	Project	REV
Size	A4	MainModule
Date	#SCH_FILE_DATE	Sheet 2 / 2

Obr A.2 Schéma zapojení hlavní části výkres č.2

Příloha B

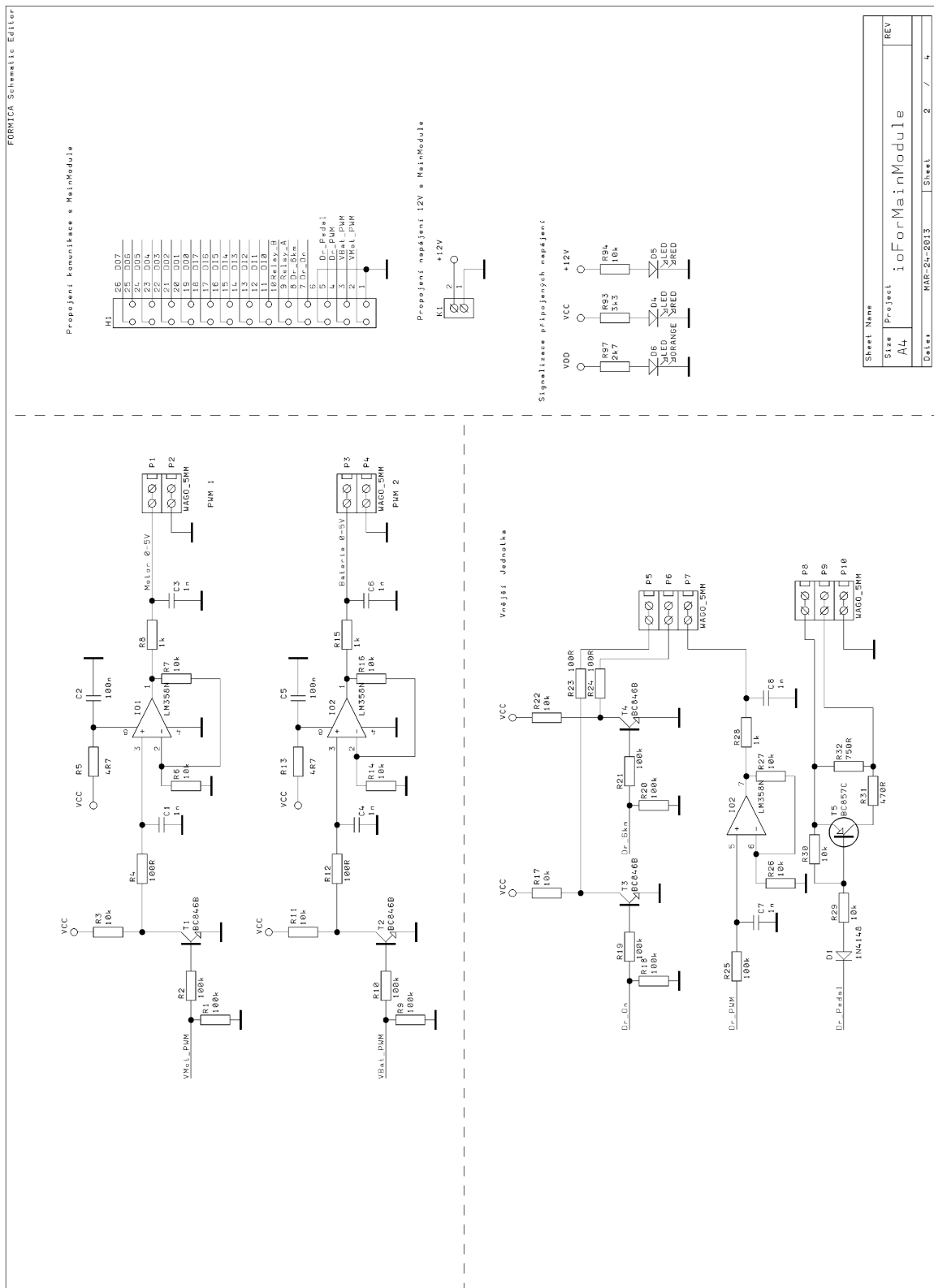
Seznam součástek pro vstupně/výstupní část hlavního modulu					
Označení	Kusy	Typ součástky	Hodnota	Pouzdro	Komentář
C1, C3, C4, C6, C7, C8	6	CC 0805	1n	C0805	Keramický kondenzátor
C2, C5, C11, C12	4	CC 0805	100n	C0805	Keramický kondenzátor
C9, C10	2	C POL	10u	CTB	Elektrolytický kondenzátor
D1	1	1N4148		D1206	Dioda
D2, D3	2	D		D1206	Dioda
D4, D5	2	LED	Červená	D1206	LED, Červená
D6	1	LED	Oranžová	D1206	LED, Oranžová
H1	1	HEADER-2X1		MLW26A	Konektor pro mostící kabel mezi částmi
H2	1	PCI 164		PCIE168_TH	Konektor PCI sběrnice Samice 2x82 pinů
IO1, IO2	2	LM358N		SOP8	operační zesilovač
K1	1	ARK110/2		PSH02-W	Konektor pro externí přivedení napájení
P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23, P24, P25, P26, P27, P28, P29, P30, P31, P32, P33, P34, P35, P36, P37, P38, P39, P40, P41, P42, P43, P44, P45, P46, P47	47	WAGO_5MM		W256746	Wago konektory

R1, R2, R9, R10, R18, R19, R20, R21, R25, R73, R74, R77, R78, R85, R86, R89, R90	17	R-SMD 0805	100k	R0805	Rezistor
R3, R6, R7, R11, R14, R16, R17, R22, R26, R27, R29, R30, R66, R67, R69, R70, R71, R75, R79, R81, R83, R84, R87, R91, R94	25	R-SMD 0805	10k	R0805	Rezistor
R4, R12, R23, R24, R72, R76, R88, R92	8	R-SMD 0805	100R	R0805	Rezistor
R5, R13	2	R-SMD 0805	4R7	R0805	Rezistor
R8, R15, R28	3	R-SMD 0805	1k	R0805	Rezistor
R31	1	R-SMD 0805	470R	R0805	Rezistor
R32	1	R-SMD 0805	750R	R0805	Rezistor
R33, R34, R35, R36, R37, R38, R39, R40, R41, R42, R43, R44, R45, R46, R47, R48, R49, R50, R51, R52, R53, R54, R55, R56, R57, R58, R59, R60, R61, R62, R63, R64	32	R.2		R1206	Rezistor nulový
R65, R68, R80, R82	4	R-SMD 1206	10k	R1206	Rezistor
R93	1	R-SMD 0805	3k3	R0805	Rezistor
R95, R96	2	R.2		R0805	Rezistor nulový
R97	1	R-SMD 0805	2k7	R0805	Rezistor
T1, T2, T3, T4, T12, T13, T18, T19	8	BC846B		SOT23	NPN tranzistor
T5	1	BC857C		SOT23	PNP tranzistor
T6, T7	2	IRLML2502		SOT23	Mosfet tranzistor
T8, T10, T14, T16	4	BC847C		SOT23	NPN tranzistor
T9, T11, T15, T17	4	IRF4905S SMD		D2PAK-3	Mosfet tranzistor
U1	1	74ALS14		SOP14	Shmittův klopný obvod

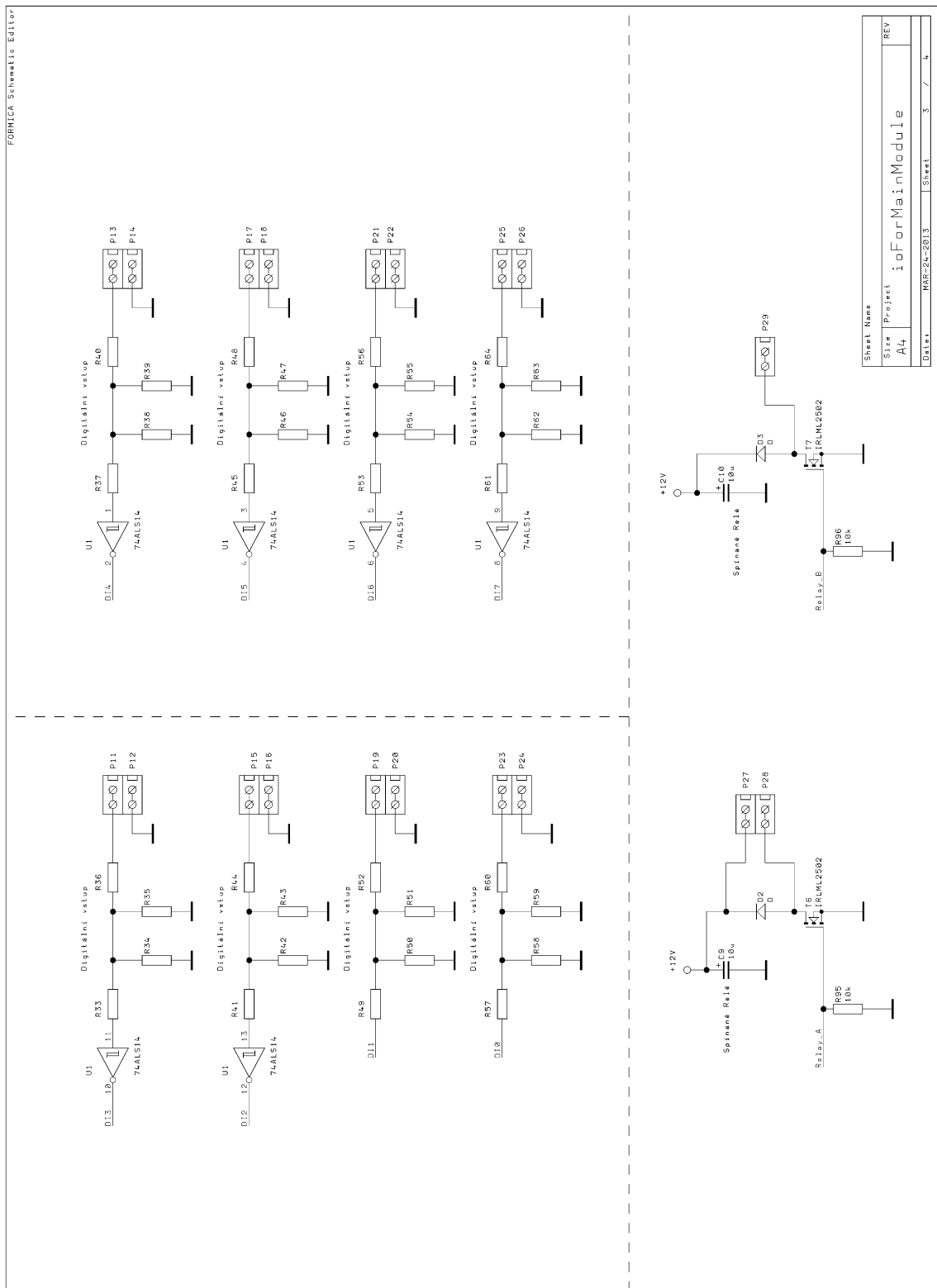
Tab B.1 Seznam součástek vstupně/výstupní části modulu

Zapojení elevátoru pro sekundární konektor Kinetis K60						
Strana A				Strana B		
Pin	Připojen	Port		Pin	Připojeno	Port
1	Vcc	5V		101	Vcc	5V
3	Vdd	3,3V		103	Vdd	3,3V
4	Vdd	3,3V		104	Vdd	3,3V
36	Vdd	3,3V		136	Vdd	3,3V
82	Vdd	3,3V		182	Vdd	3,3V

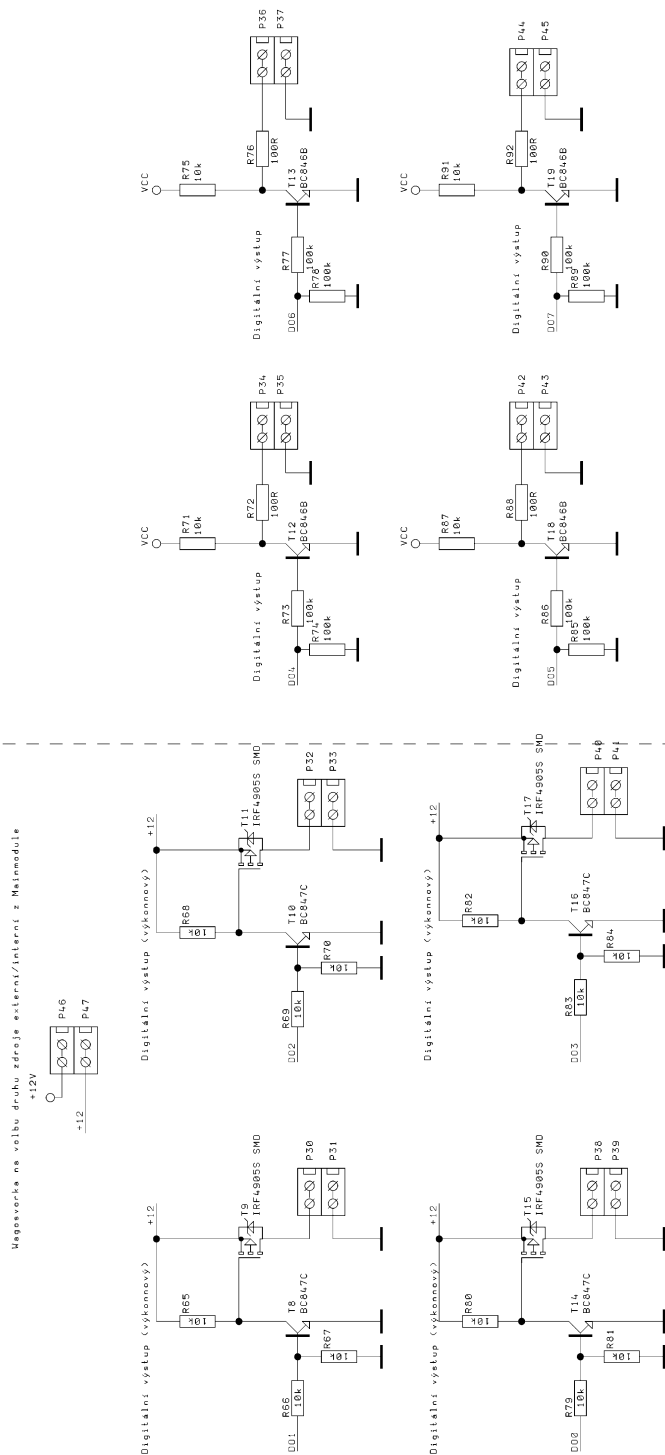
Tab B.2 Tabulka využitých pinů sekundárního konektoru Kinetis K60



Obr B.1 Schéma zapojení vstupně/výstupní části výkres č.1

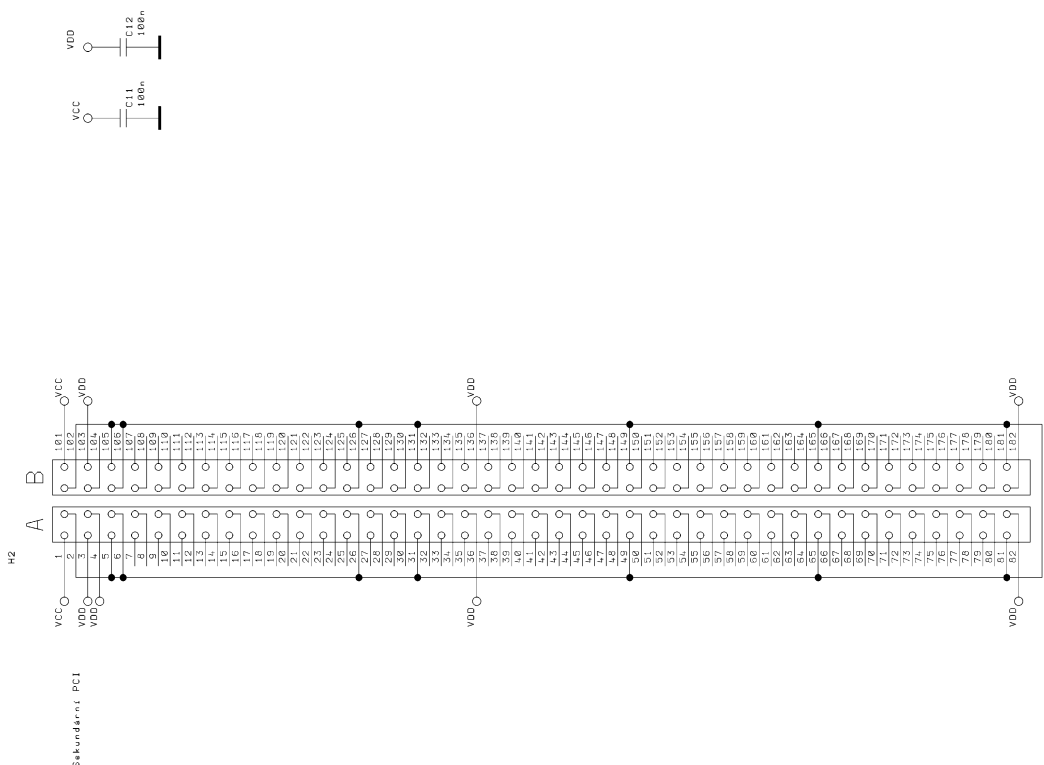


Obr. B.2 Schéma zapojení hlavní části výkres č.2



Sheet Name		
Size	Project	REV
A4	ioForMainModule	

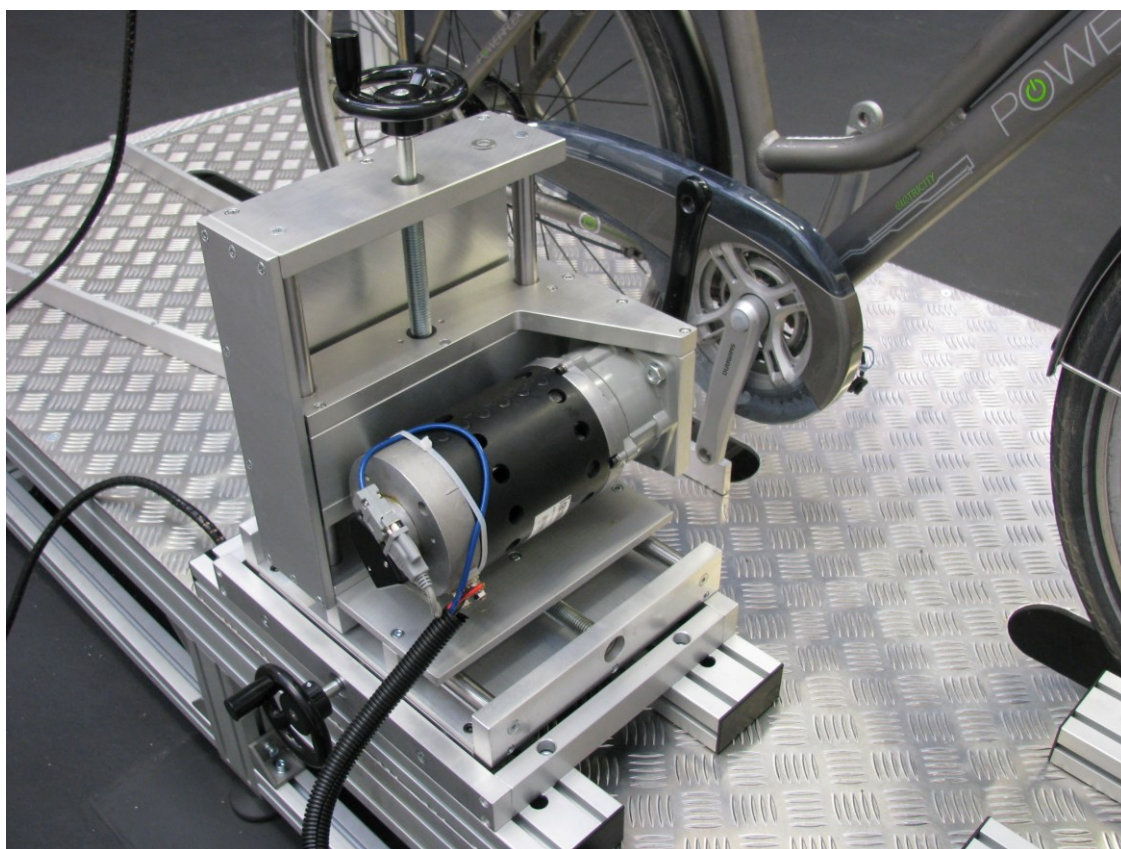
Obr B.3 Schéma zapojení hlavní části výkres č.3



Sheet Name		
Size	Project	REV
A4	ioForMainModule	
Date		
MAR-24-2013	Sheet	4 / 4

Obr B.3 Schéma zapojení hlavní části výkres č.3

Příloha C



Obr. 40 Detail simulátoru šlapání



Obr. 41 Rozvaděč z elektronikou



Obr. 42 Měřicí a testovací stanice

Příloha D

Zde je popsán obsah přiloženého CD (obsah jednotlivých adresářů).

Bakalarska_prace – Obsahuje pdf s obsahem této práce.

Datasheets – Obsahuje katalogové listy všech použitých obvodů ve formátu pdf.